

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Documentos

ISSN 0103-0205
Outubro, 2005

138

Adubação do Algodoeiro no Cerrado:
Com Resultados de Pesquisa em
Goiás e Bahia



Embrapa

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Tatiana Deane de Abreu Sá

Diretores Executivos

Embrapa Algodão

Robério Ferreira dos Santos
Chefe Geral

Luiz Paulo de Carvalho
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria Auxiliadora Lemos Barros
Chefe Adjunto de Administração

José Renato Cortêz Bezerra
Chefe Adjunto de Comunicação, Negócio e Apoio



ISSN 0103-0205
Outubro, 2005

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Algodão

Documentos 138

Adubação do Algodoeiro no Cerrado: Com
Resultados de Pesquisa em Goiás e Bahia

Gilvan Barbosa Ferreira
Maria da Conceição Santana Carvalho

Campina Grande, PB.
2005

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 – Centenário
Caixa Postal 174
CEP 58107-720 - Campina Grande, PB
Telefone: (83) 3315-4300
Fax: (83) 3315-4367
algodao@cnpa.embrapa.br
<http://www.cnpa.embrapa.br>

Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Paulo de Carvalho
Secretária: Nívia Marta Soares Gomes
Membros: Cristina Schetino Bastos
Fábio Akiyoshi Suinaga
Francisco das Chagas Vidal Neto
Gilvan Barbosa Ferreira
José Américo Bordini do Amaral
José Wellington dos Santos
Nair Helena Arriel de Castro
Nelson Dias Suassuna
Supervisor Editorial: Nívia Marta Soares Gomes
Revisão de Texto: Gilvan Barbosa Ferreira
Tratamento das ilustrações: Geraldo Fernandes de Sousa Filho
Foto da capa: Raimundo Estrela Sobrinho
Editoração Eletrônica: Geraldo Fernandes de Sousa Filho

1ª Edição
1ª impressão (2005) 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB).

Adubação do Algodoeiro no Cerrado: Com Resultados de Pesquisa em Goiás e Bahia, por Gilvan Barbosa Ferreira e Maria da Conceição Santana Carvalho. Campina Grande, 2005.

67p. (Embrapa Algodão. Documentos, 138).

1. Algodão-Adubação-Cerrado-Brasil-Goiás. 2. Algodão-Adubação-Cerrado-Brasil-Bahia. I. Ferreira, G.B. II. Carvalho, M. da C.S. III. Título. IV. Série.

CDD 633.51

© Embrapa 2005

Autores

Gilvan Barbosa Ferreira

D.Sc., Eng. Agr., Pesquisador da Embrapa Algodão, R. Osvaldo Cruz,
1143, Centenário, 58107-720, Campina Grande-PB.

E-mail: gilvanbf@cnpa.embrapa.br.

Maria da Conceição Santana Carvalho

D. Sc., Eng. Agr., Pesquisadora da Embrapa Algodão, Núcleo de Goiás.
Caixa Postal 714, 74001-970 Goiânia, GO.

E-mail: mcscarva@cnpa.embrapa.br

Apresentação

A correção do solo e a adubação mineral do algodoeiro, no cerrado, são passos tecnológicos fundamentais para possibilitar à cultura exprimir seu potencial produtivo; são também necessários para incorporar os solos ácidos e pobres dessa importante fronteira agrícola brasileira no moderno agronegócio.

O custo dessa correção de fertilidade é alto e exige cuidados primordiais para obter produtividades compensadoras que ofereçam ao capital investido, um bom retorno com o mínimo de exposição, ou de aumento, do risco financeiro da atividade. Nas últimas safras, Bahia e Goiás têm aumentado suas áreas de cultivo com algodoeiro, alcançando 237.000 ha e 143.700 ha, respectivamente. Áreas maiores podem ser incorporadas ao sistema produtivo, em ambos os Estados, caso haja mercado para escoamento da produção. Com produtividades médias de pluma, de 1.344 e 1.231 kg/ha, respectivamente, esses Estados só perdem para o Mato Grosso, em produção e produtividade (1.387 kg/ha, na safra 2004/2005). A adubação deve ser feita para manter crescentes essas produtividades, porém com manutenção ou, se possível, redução do custo unitário da pluma produzida. Deste modo, será possível fazer, e consolidar, a cotonicultura do cerrado brasileiro como a mais competitiva do mundo.

Este enfoque tem sido a filosofia de trabalho da Embrapa Algodão. Desde a safra 1999/2000, pesquisas sistemáticas vêm sendo realizadas nos cerrados da Bahia e Goiás, com maior intensidade a partir da safra 2002/2003. Os dados apresentados neste documento exprimem um extrato dos resultados alcançados até o momento. Apesar de se procurar dar uma visão global do manejo da adubação e, inclusive, acrescentar dados dos Estados vizinhos (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), de pesquisas conduzidas por outros pesquisadores e entidades, este documento tem a preocupação de focalizar as realidades

particulares da cotonicultura de Bahia e Goiás, fornecendo aos produtores uma ferramenta para melhorar o manejo da adubação e controlar os custos desse importante item, no custeio da lavoura.

Muitas pesquisas ainda faltam para aprimorar as recomendações presentes nesta publicação; entretanto, a Embrapa Algodão acredita que ela será um passo decisivo para a completa racionalização do uso de corretivos e fertilizantes na cultura e, ainda, consolidação dos sistemas produtivos existentes na região.

Robério Ferreira dos Santos
Chefe Geral da Embrapa Algodão

Sumário

Adução do Algodoeiro no Cerrado: Com Resultados de Pesquisa em Goiás e Bahia	11
Introdução	11
Princípios.....	12
Regra geral.....	13
Atenção às leis biológicas.....	13
Racionalização do fluxo de nutriente no sistema solo-planta.....	15
Histórico da área.....	16
Conjuntura econômica.....	16
Correções da Acidez Superficial e Subsuperficial do Solo.....	17
Exigências Nutricionais.....	23
A absorção dos nutrientes	23
Metabolismo, funções e deficiências.....	24
Acumulação e exportação dos nutrientes.....	27
Diagnose foliar	29
Adução com Nitrogênio.....	29
Adução com Fósforo.....	35
Adução com Potássio	38

Adubação com Micronutrientes.....	48
Recomendação de Adubação: Primeira Tentativa.....	56
Conclusões.....	60
Considerações Finais.....	62
Agradecimentos.....	63
Referências Bibliográficas.....	64

Adubação do Algodoeiro no Cerrado: Com Resultados de Pesquisa em Goiás e Bahia

Gilvan Barbosa Ferreira

Maria da Conceição Santana Carvalho

Introdução

O algodoeiro é cultivado com sucesso nos cerrados de Goiás e Bahia, especialmente em sucessão com a soja. Os solos usados são diferentes nesses Estados, visto que, em Goiás, predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos no centro-leste, os Latossolos Vermelhos (antigos Latossolos Vermelho-Escuros) no centro-sul e os Latossolos Vermelhos férricos (antigo Latossolo Roxo) no sul, os quais são, geralmente, argilosos e cultivados com algodoeiro em Sistema de Plantio Direto (SPD) ou semi-direto, na maioria dos casos. Na Bahia, prevalecem os Latossolos Vermelho-Amarelos, muito arenosos, sob condição de cerrado e Sistema de Cultivo Convencional (SCC), predominantemente. Em ambos os Estados, é comum o uso do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). No Sudoeste da Bahia, por outro lado, é notória a ocorrência de Cambissolos carbonáticos ricos em nutrientes, sob condição semi-árida. Com exceção da última região, nas demais o padrão tecnológico de exploração do algodoeiro é semelhante, baseado em grandes propriedades, mecanização de todas as etapas da produção e alto uso de insumos e demais tecnologias.

Os custos de produção são elevados mas se obtêm produtividades altas que compensam o investimento; entretanto, os constantes aumentos de custo, pela deterioração da relação de preço pluma/adubo e pelo uso excessivo de insumos, tem estreitado as margens de lucro. Na safra 2004/2005, o gasto médio foi de US\$ 353,61/ha (R\$ 3,00 = US\$ 1,00) com corretivos e fertilizantes para as condições do cerrado de MS, GO e MT, e de US\$ 334,82/ha para as condições da BA, que correspondem a cerca de 23% do custo de produção (US\$ 1559,91/ha). Apesar das condições distintas observadas entre os Estados, o manejo da cultura para obtenção de altas produtividades tem sido muito parecido com a aplicação média de 1.000 kg/ha/ano de calcário, 500 kg/ha/ano de gesso, 464 kg/ha/ano de adubação de plantio (8-24-12 + 5% de N-P₂O₅-K₂O + micronutrientes e enxofre, e outras formulações populares) e 608 kg/ha/ano de adubação de cobertura (KCl + B, Uréia, formulações 20-00-20 etc), além de quantidades variáveis de B, Cu, Mn, Mo, Zn, Ca, e KNO₃ em adubações foliares. Produtividades superiores a 4.500 kg/ha de algodão em caroço são comuns, porém a média de produtividade tem sido de 3.420 e 3.285 kg/ha, respectivamente, para os Estados da BA e GO. Com um rendimento de fibra de 40% e US\$ 1,00 = R\$ 2,35, o custo de produção chega a R\$ 41,00/@ de pluma. No momento (06/09/2005), o índice ESALQ aponta um valor de mercado da pluma de R\$ 34,40/@ e o dólar a R\$ 2,33 (set/2005) praticamente anula os ganhos dos produtores que asseguraram contratos de exportação, cujos vencimentos para dez/2005 apontam para US\$c 49,85/lb (R\$ 38,46/@). Neste contexto, o uso eficiente da adubação, associado à racionalização de todo o processo produtivo, é essencial para obtenção de altas produtividades, redução de custo por arroba de algodão produzido e viabilização dos sistemas de produção do Cerrado.

O estudo sistemático da adubação e calagem do algodoeiro em Goiás vem sendo realizado intensivamente desde 2002, tendo-se acumulado resultados de três safras consecutivas. As pesquisas feitas na Bahia são realizadas de forma mais ampla a partir da safra 2003/2004, apesar de alguns trabalhos iniciais remontarem à safra 1999/2000. Discutir-se-ão, neste trabalho alguns aspectos básicos relevantes sobre o manejo da adubação e indicados os resultados mais significativos obtidos até o momento.

Princípios

Sabendo-se que muitos produtores iludem-se acreditando ser sempre possível

aumentar a produtividade com o uso de quantidades crescentes de fertilizantes e corretivos, sem preocupar-se com a rentabilidade da área, convém ressaltar os princípios que regem as práticas de correção da fertilidade e adubação das culturas.

Regra geral

A fertilidade do solo é apenas um dos fatores de produção; sua eficiência será tanto maior quanto mais adequados estiverem os demais fatores, em quantidade e qualidade (ALVAREZ V., 1996). O clima local e a variedade usada definem o patamar de produtividade a ser obtido em condições normais de cultivo em sequeiro, sendo o manejo de solos e da cultura os complementos essenciais para que o potencial seja alcançado. Sob dada condição de manejo tecnificado, os patamares de produtividade se elevam ou se mantêm no tempo, pelo uso adequado e combinado das práticas corretas de cultivo, porém o potencial local para maiores produtividades somente se modifica significativamente com mudanças nas variedades usadas e/ou nas condições de cultivo de sequeiro para irrigado. Neste nível de manejo, a simples alteração nas quantidades dos fatores de produção envolvida pode aumentar o custo sem o retorno equivalente em produtividade.

Atenção às leis biológicas

A correção dos solos e a adubação das culturas se fundamentam em Leis amplamente conhecidas, sem obediência das quais se pode incorrer em sérios prejuízos (DIAS e ALVAREZ V., 1994). Em tradução livre, elas dizem:

- i) Lei do Mínimo: o nutriente ou fator de produção mais limitante impede o alcance de uma maior produtividade;
- ii) Lei dos Incrementos Decrescentes: a resposta à aplicação sucessiva de uma unidade de dado fator de produção (nutriente, neste caso) é cada vez menor, até o alcance da produção máxima;
- iii) Lei da Interação: a resposta a um fator é tanto melhor quanto mais próximo do ótimo estiverem os demais;
- iv) Lei da Restituição: para manter um solo fértil é necessário restituir os nutrientes perdidos do sistema;

v) *Lei do Máximo*: o excesso de um nutriente no solo reduz a eficácia de outros e diminui a produtividade;

vi) *Lei da Qualidade Biológica e Ambiental*: o acréscimo sucessivo de dado fator ou nutriente, acima de certo limite, prejudica a qualidade do produto formado e, ou, causa danos ao meio ambiente.

Quando os solos do cerrado são incorporados ao sistema produtivo ou manejado para produzir algodão, inicialmente faz-se uso das Leis i a iii; quando o sistema se estabiliza, deve-se aplicar rigorosamente a Lei iv e evitar, a todo custo, doses de nutrientes que ultrapassem o limite da rentabilidade das Leis iii e v e, ou, da responsabilidade da Lei vi.

A Figura 1 ilustra a economia da adubação do algodoeiro com obtidos no Oeste da Bahia. Todo o esforço da pesquisa é dirigido para ajudar os agricultores a obterem a produtividade máxima econômica (PME). Neste ponto, a diferença entre a receita bruta e o custo total é máxima (Figura 1), o custo unitário do algodão produzido atinge seu valor mínimo e o lucro/ha, o máximo (Figura 2). Além do desgaste de máquinas, maior esforço coletivo e maior investimento e risco financeiro incorridos, a adubação, visando alcançar a produtividade máxima (PM), reduziu o lucro em R\$ 110,00/ha. Assim, confirmam-se as leis discutidas acima e se conclui que, se o agricultor não estiver obtendo redução de custo

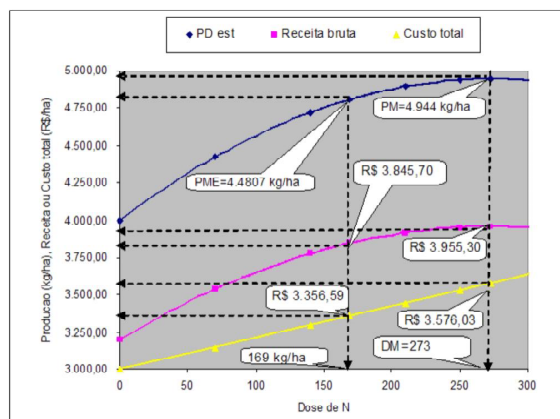


Fig. 1. Resposta em produção de algodão em caroço, receita bruta e custo total em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio na cultura do algodoeiro. Custo fixo: R\$ 3.000,00/ha; preço do algodão em caroço: R\$ 12,00/@; preço da uréia: R\$ 950,00/t. São Desidério, BA, safra 2004/2005

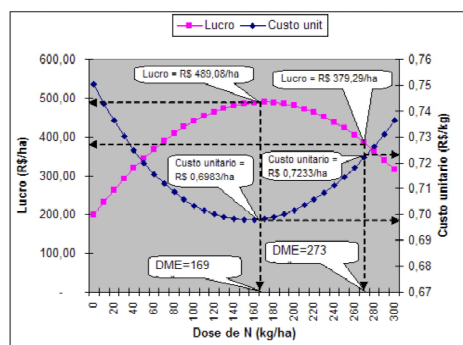


Fig. 2. Variação no lucro e no custo unitário de produção do algodão em caroço em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio na cultura do algodoeiro. Custo fixo: R\$ 3.000,00/ha; preço do algodão em caroço: R\$ 12,00/@; preço da uréia: R\$ 950,00/t. DME – Dose de máxima eficiência econômica; DM – dose de máxima eficiência física. São Desidério, BA, safra 2004/2005.

unitário ou sua estabilização com o uso da adubação empregada, ele estará usando fertilizantes além do necessário para sua lavoura.

Racionalização do fluxo de nutriente no sistema solo-planta

A adubação ótima sustentável é a diferença entre a quantidade de nutriente que a planta exige para uma produtividade rentável (requerimento) e a quantidade de nutriente que o solo pode fornecer prontamente em um ciclo de cultivo (suprimento), acrescida das perdas por lixiviação (l), adsorção (a), precipitação (p), volatilização (v), imobilização (i) e erosão (e) do solo. Pode-se expressá-la matematicamente, assim:

$$\text{Adubação ótima sustentável} = (\text{Requerimento da Planta} - \text{Suprimento do solo}) + \text{Perdas}$$

Por princípio, um solo corrigido em sua fertilidade (acidez e teor de macro e micronutrientes) tende a necessitar de quantidades cada vez menores de nutrientes visto que, à medida que se usa uma variedade eficiente, controla-se a erosão e se aperfeiçoa a aplicação dos fertilizantes e dos corretivos no tempo, na quantidade adequada e no local correto. A análise de solo anual é a ferramenta usada para quantificar os teores dos nutrientes disponíveis para a cultura em cada ciclo de cultivo e monitorar sua evolução no tempo (OLIVEIRA et al.,

2002); seu uso correto permite racionalizar as quantidades de nutrientes a serem aplicadas no solo em cada talhão da propriedade, pois são confeccionados baseando-se em resultados de exaustivos testes de resposta a doses de nutrientes em solos com diferentes níveis de fertilidade. A marcha de absorção de nutrientes e a medição pontual do acúmulo no final do ciclo são as ferramentas básicas para delimitar o requerimento de nutrientes da cultura, assim como a análise foliar permite o seu monitoramento durante o ciclo. Em solo corrigido e equilibrado, a restituição dos nutrientes perdidos principalmente por meio da colheita, mas também, pelos outros fatores de ocorrência natural no ambiente, permite a otimização do uso dos nutrientes e o alcance dos menores custos de manejo.

Histórico da área

Cada talhão da propriedade deve ter seu histórico de uso bem documentado, contando de teor de nutrientes no solo e sua evolução, quantidades de corretivos e adubos aplicados a cada safra, rotação de culturas usadas e suas respectivas produtividades, além de outras informações que se achar conveniente. Com base nos registros das safras anteriores e na tecnologia recomendada, os diferentes fatores de produção devem ser ajustados visando encontrar e manter as condições que permitam o alcance das maiores produtividades, os menores custos de produção e sua sustentabilidade ao longo dos anos.

O uso consciente desses princípios em conjunto é a base de um manejo nutricional de sucesso do algodoeiro para a obtenção de altas produtividades, com competitividade, rentabilidade, qualidade e sustentabilidade.

Conjuntura econômica

Todo o processo produtivo é feito dentro de uma conjuntura econômica razoavelmente previsível e as tabelas de recomendação supõem que a relação de preços insumo/produto é favorável para a obtenção de até 90% da produtividade máxima teórica. Assim, em condições em que os preços dos produtos superam a média histórica e tornam a relação citada mais favorável, até 20% a mais de adubo podem ser aplicados sem risco de prejuízo econômico. Do mesmo modo, se o preço do algodão está baixo, todo o rigor deve ser tomado

no dimensionamento da adubação necessária, reduzindo as doses para atender à exportação efetuada pela cultura no ano anterior e, se possível, reduzir a adubação para aproveitar o efeito residual das adubações anteriores, especialmente para fósforo, uma vez que o solo deve ser manejado sempre no nível adequado dos nutrientes.

Correções da Acidez Superficial e Subsuperficial do Solo

Ensaio com calagem e gessagem vêm sendo efetuados em Goiás desde a safra 2002/2003. Na Bahia, apenas o acompanhamento do efeito da calagem e da adubação em campo de produção foi efetuado até o momento.

Sabe-se que o algodoeiro é muito sensível à acidez e à presença de alumínio trocável, além de exigente em cálcio, elemento essencial para o desenvolvimento das raízes. A calagem soluciona este problema, corrigindo a acidez, neutralizando o alumínio trocável, elevando a saturação por bases e fornecendo cálcio e magnésio para a cultura. Além desses efeitos diretos com a calagem, a cultura é beneficiada indiretamente pelo aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que aumenta o estoque dos nutrientes catiônicos e reduz a lixiviação de potássio, e da disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, enxofre, fósforo e molibdênio. Em geral, recomenda-se o uso de calcário dolomítico ou magnesiano quando o teor de magnésio no solo for inferior a 10 mmol/dm³. A saturação de Mg na CTC considerada ideal para o algodoeiro se situa na faixa de 13 a 16%.

No cerrado, a quantidade adequada de calcário a ser aplicada no solo para o algodoeiro é calculada usando-se o método da saturação por bases. Recomenda-se o uso de uma saturação por bases de 60% na camada 0-20 cm e pelo menos 45-50% nas camadas mais profundas (20-40 e 40-60 cm). Para valores de saturação por bases maiores que 65%, o pH em água do solo será maior que 6,4 e, nesta condição, poderá ocorrer redução da disponibilidade dos micronutrientes Cu, Mn e Zn. Para que o calcário possa produzir os efeitos desejados, é imprescindível que haja umidade no solo e sua aplicação seja feita com antecedência mínima de dois meses do plantio. Mesmo assim, em solos argilosos de Turvelândia, Goiás, foi oportuna a aplicação de quatro vezes a necessidade de calagem (alvo = 70% de saturação em bases da CTC a pH 7,0) para que a saturação em bases se elevasse de 58 a 70%, condições em que se

obtiveram produtividades ao redor de 4.003 kg/ha. Usando-se este mesmo critério em plantio direto, com o calcário jogado a lanço sobre o solo, a aplicação de 10.400 kg/ha somente elevou a saturação para 47% no segundo ano da aplicação, em um solo ácido de Santa Helena, GO (Tabela 1), evidenciando que a correção do solo antes da implementação do plantio direto deve ser feita com altas quantidades de calcário e incorporação com aração e gradagem na camada arável. Após o estabelecimento do SPD, não se deve permitir que a saturação em bases caia abaixo de 50%, preferindo-se aplicações de pequenas quantidades de calcário anual (até 2 t/ha) que a aplicação de grandes quantidades a cada 4 anos. A alteração da saturação por bases é lenta no tempo e o uso deste critério, visando ao alvo de 60%, pode não ser alcançado devido à acidificação anual do solo pela mineralização da matéria orgânica, da adição de nutrientes nitrogenados, das perdas por lixiviação e da absorção e acidificação do solo pelas raízes das plantas. Não há resposta em produtividade no algodoeiro (cultivar Delta Opal) quando a saturação de bases supera os 60%, mesmo quando o calcário é distribuído homogeneamente no solo e incorporado na camada de 0-20 cm (Turvelândia, GO, Tabela 1). O uso de calcário a lanço em solo muito ácido cultivado sob SPD, não permite ganho elevado de

Tabela 1. Variação no pH, na saturação por bases (V), na produtividade de algodão em caroço (kg/ha) e no seu ganho adicional em função de doses de calcário em duas localidades do Estado de Goiás, nas safras 2002/2003 e 2003/2004

Calcário ¹ (kg/ha)	Safr 2002/2003				Safr 2003/2004			
	pH	V (%)	Produtividade	Ganho (%)	pH	V (%)	Produtividade	Ganho (%)
Santa Helena – GO								
0	4,78	29	2.336 b ²	0	4,73	21,6	3.189 a	0
1.300	4,91	33	2.496 ab	6,8	4,95	29,8	3.319 a	4,1
2.600	4,95	39	2.583 a	10,6	5,09	35,2	3.309 a	3,8
5.200	5,12	43	2.479 ab	6,1	5,23	37,7	3.275 a	2,7
10.400	-	-	2.484 ab	6,3	5,40	47,2	3.214 a	0,7
Turvelândia – GO								
0	5,85	67	3.938,1 a	0				
665	6,63	79	4.005,1 a	1,7				
1.330	6,81	84	4.003,3 a	1,7				
2.660	6,46	76	3.896,2 a	-1,1				
5.320	6,19	74	3.891,8 a	-1,2				

¹ Calcário aplicado com base em 0, 1/2, 1, 2 e 4 x a quantidade necessária para se obter 70% de saturação em bases na camada de 0-20 cm. Turvelândia, Plantio Convencional e calcário incorporado; Santa Helena, Plantio Direto e distribuição do calcário a lanço; ² Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

produtividade que supere a sua variação anual normal em razão das mudanças na pluviosidade (quantidade e distribuição) a cada ano agrícola; apesar disso, os melhores ganhos em produtividade se situam próximo à dose calculada pelo método da saturação em bases.

Em anos com limitação climática, a aplicação de calcário não influenciou na absorção de micronutrientes, apesar de reduzir o teor foliar de Mn, porém no ano em que as condições climáticas propiciaram maiores produtividades, a calagem resultou em aumento da absorção dos macronutrientes e do Zn e redução dos teores de B e Mn (Tabela 2).

O calcário não alterou o padrão de resposta em produção e em absorção quando se variou a aplicação dos micronutrientes, nem modificou sua disponibilidade no solo (medida para B, pela extração com água quente, e para Cu, Fe, Mn e Zn, pela extração com Mehlich-1).

Tem-se constatado, na Bahia, a aplicação excessiva de calcário em algumas fazendas. Nesses locais, com teor de argila de 170 g/kg, a saturação em bases chega a ultrapassar 70% e o pH, o valor de 6,5. Um exemplo típico desse fato é

Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes no algodoeiro, em função da aplicação de diferentes doses de calcário em duas localidades do Estado de Goiás, em dois anos agrícolas

Calcário *	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(t/ha)	g/kg						mg/kg				
	Turvelândia, safra 2002/2003										
0	-	-	-	36,5	5,8	5,0	-	6,5	782	35,0	36,8
665	-	-	-	45,8	5,0	5,6	-	7,2	962	24,3	37,8
1.330	-	-	-	42,8	5,5	5,5	-	8,5	879	24,0	37,5
2.660	-	-	-	40,3	5,8	5,0	-	6,7	683	21,8	37,1
5.320	-	-	-	34,3	5,8	5,1	-	8,5	715	21,0	35,9
<i>P>F</i>	-	-	-	<i>ns</i>	<i>Ns</i>	<i>ns</i>	-	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	Santa Helena, safra 2003/2004										
0	48,1	3,7	18,3	36,4	2,6	3,7	48	-	-	181	29
1.300	48,5	3,8	19,4	35,1	3,0	3,7	45	-	-	144	30
2.600	48,4	4,0	19,7	38,1	3,0	3,7	42	-	-	153	32
5.200	49,4	3,9	18,7	38,6	3,3	3,8	45	-	-	138	30
10.400	51,1	4,2	20,5	40,2	3,3	4,1	43	-	-	126	32
<i>P>F</i>	<i>ns</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	-	-	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>

* Calcário aplicado com base em 0, 1/2, 1, 2 e 4 vezes a quantidade necessária para obter 70% de saturação em bases na camada de 0-20 cm. Turvelândia, Plantio Convencional e calcário incorporado; Santa Helena, Plantio Direto e distribuição do calcário a lanço.

indicado na Figura 3, com a presença da análise de solo sobre vegetação nativa para fins de comparação. O pH provocou a oxidação excessiva da matéria orgânica, reduzindo-a a menos da metade; as bases trocáveis facilmente lixiviaram durante uma estação de cultivo em todas as camadas do perfil analisadas, o que tornará necessária a calagem em menor espaço de tempo e as plantas mostraram sintomas de deficiência de Mn. Este pH elevado provocou

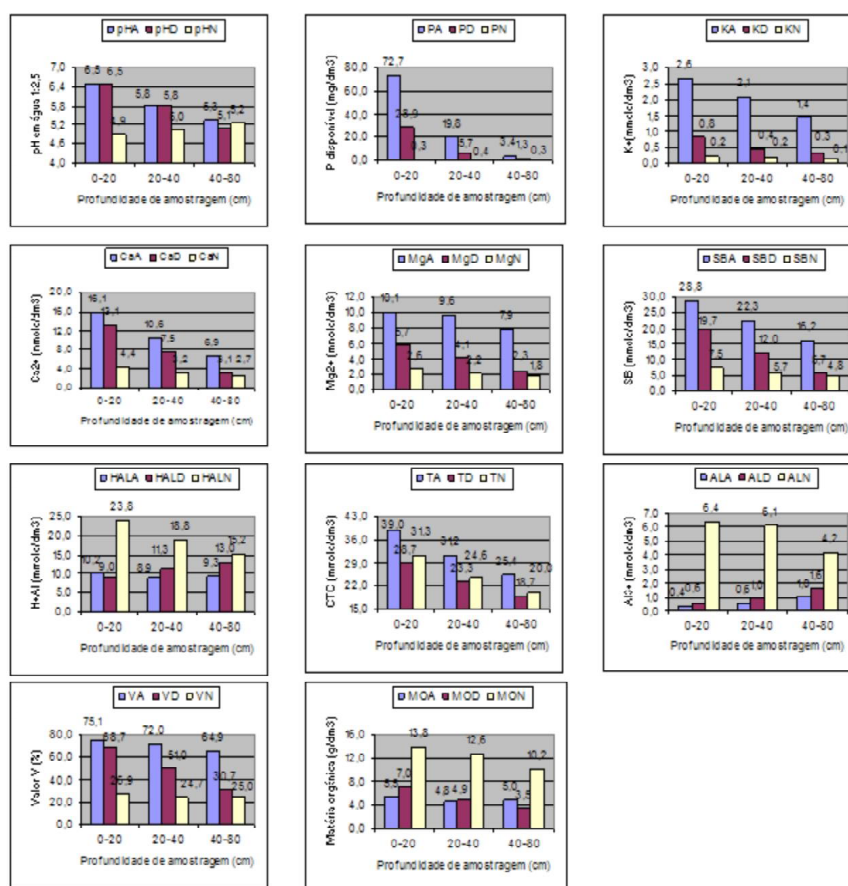


Fig. 3. Mudança nas características químicas do solo sob cultivo de algodão, amostrado na linha de plantio um mês após a semeadura (A) e amostrado depois (D) da colheita do experimento, e comparação com os teores encontrados na reserva nativa (N). São Desidério, BA, safra 2003/2004.

dispersão da fração argila, notado pela turbidez do extrato de uma coluna de lixiviação quando comparado, em condições semelhantes, com outro solo de Santa Helena, GO (Figura 4).

O uso do gesso é disseminado em condições de cerrado, em especial sob cultivo do algodoeiro. Em Santa Helena de Goiás e em Turvelândia, ambos no Estado de Goiás, foram montados dois ensaios para verificar o efeito do gesso nos anos agrícolas de 2002/2003 e 2003/2004. O gesso não interagiu com o calcário, porém não houve resposta à gessagem quando a saturação por bases foi superior a 60%. O gesso melhorou sensivelmente o desenvolvimento radicular abaixo da camada de 20 cm quando aplicado no solo ácido de Santa Helena, como pode ser visto na Figura 5; seu uso, quando na camada subsuperficial (20-40, 40-60 cm) e a saturação por alumínio for superior a 20% ou o teor de cálcio for inferior a 5 mmol_c/dm³, tende a melhorar o aproveitamento



Fig. 4. Imagem do extrato de lixiviação de uma coluna de solo, com os horizontes A e B montados. Extrato amarelo de LVA arenoso de Roda Velha, São Desidério, BA; Extrato límpido de LV argiloso de Santa Helena de Goiás. Coloração amarelada do lixiviado do solo da Bahia – provável dispersão de argila e matéria orgânica, provocada pela calagem.



Fig. 5. Fotografias digitais mostrando a distribuição de raízes do algodoeiro em uma trincheira de 60 cm de largura por 60 cm de profundidade, subdividida em quadrículas de 20 cm. A= testemunha; B= Dose de calcário 2.600 kg/ha e dose de gesso igual a 1.500 kg/ha. Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003.

dos nutrientes e da água da subsuperfície e tornar o algodoeiro mais resistente ao déficit hídrico, como tem ocorrido com outras culturas (LOPES, 1984; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; REICHARDT, 1985; LOPES e GUILHERME, 1994).

Notou-se, também, redução nos teores de potássio (24 para 17 mg/dm³) na camada de 0-10 cm no solo de Santa Helena, quando se aplicaram 3.000 kg/ha de gesso no primeiro ano do experimento. Em Turvelândia, não se observou redução significativa nos teores desse nutriente no solo, apesar do menor teor medido quando se aplicaram 5.000 kg/ha do produto (reduziu de 172 para 146 mg/dm³). Esses solos são argilosos, daí o menor impacto observado pelas doses de gesso aplicada. No cerrado da Bahia, entretanto, a aplicação anual de quantidades superiores a 500 kg/ha de gesso, ou a aplicação de 100 a 150 kg/ha de P₂O₅ como superfosfato simples a lanço (que contém sulfato de cálcio em sua composição), talvez explique a forte lixiviação encontrada em condições normais de cultivo (Figura 3). Embora esta lixiviação contribua para o aprofundamento do sistema radicular do algodoeiro e maior eficiência no aproveitamento de água e nutrientes das camadas mais profundas, ainda se busca provar se o efeito benéfico supera as perdas de bases trocáveis do solo e o maior custo com calagem e adubação com potássio. Resultados obtidos no Estado de São Paulo têm mostrado que o uso de gesso em solos arenosos é inviável, mesmo porque as bases tendem a descer naturalmente nesses solos, devido à baixa densidade de cargas negativas para sustentar os cátions trocáveis, sem a necessidade do gesso para cumprir esta função; entretanto, como os veranicos de até 13 dias consecutivos são freqüentes anualmente na região, podendo-se estender até 22 dias consecutivos a cada 7 anos, há necessidade das raízes se aprofundarem até 120 cm e além de 140 cm, nos solos arenosos (< 18% de argila), e de 80 e 120 cm, respectivamente, nos solos mais argilosos (> 18% de argila), para superar este fenômeno com perda mínima de produtividade (LOPES, 1984; LOPES e GUILHERME, 1994). Desta forma, mesmo nos solos arenosos da Bahia, com teor de argila de 17 a 35%, a gessagem é essencial para o aprofundamento radicular; sua freqüência ainda não foi determinada. A perda de bases do solo deve ser monitorada para não comprometer, especialmente, a adubação potássica.

O gesso, ao contrário do calcário, aumentou a absorção de manganês com pouca mudança na absorção dos demais micronutrientes, também influenciou as

características das fibras, diminuindo o micronaire e aumentando a reflectância, favorecendo a obtenção de fios mais finos, embranquecidos e fiáveis.

Exigências Nutricionais

A absorção dos nutrientes

O Algodoeiro é uma planta de crescimento lento inicial com alta taxa de acumulação de matéria seca a partir dos 25 dias do plantio. A marcha de absorção dos nutrientes pela planta segue o seu padrão de crescimento, aumentando substancialmente a partir dos 30 dias do plantio e alcançando uma absorção máxima diária entre os 60 e 90 dias após a germinação (MALAVOLTA, 1987; ROSOLEM, 2001). Neste período, taxas de absorção de N, P e K são altas. Cerca de 2,5 a 3,6 kg/ha/dia de absorção de N podem ocorrer no enchimento dos frutos e de 3,6 a 4,8 kg/ha/dia de K_2O pode ocorrer próximo ao pico do florescimento. Para este nutriente, 60% do total acumulado são feitos entre o aparecimento da primeira flor e a maturidade do capulho e, na proximidade do máximo florescimento, 1/3 do total acumulado é absorvido em um período de 12 a 14 dias (THOMPSON, 1999). Uma deficiência de K nesta época, comum em variedades precoces de curto período de amadurecimento, alta capacidade produtiva e cultivada sobre solos com teores baixo a médio de potássio, pode reduzir fortemente a produtividade.

Em média, cerca de 62, 66, 57, 56, 59 e 51% de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, são absorvidos entre os 50 e 150 dias da germinação (MENDES, 1960, citado por CARVALHO et al., 1999). O padrão de absorção dos micronutrientes segue o dos macronutrientes. Deste modo, a coleta de amostras de folhas no início do florescimento não reflete o estado nutricional do algodoeiro e não tem utilidade para fins de diagnóstico de deficiências e excessos.

Os nutrientes catiônicos (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} e Zn^{2+}) são absorvidos de forma passiva, por meio de canais iônicos (uniporte) ou permeases na membrana plasmática das células absorventes, apesar da existência de canais específicos e caminhos redutores para absorção de ferro e outros micronutrientes quelatados em fitossideróforos ou outros quelatos

(MARSCHNER, 1995). Os cátions também podem ser absorvidos por meio de troca, $1-2H^+/K^+$ ou outro íon, feita por proteínas específicas na membrana em um processo chamado antiporte; já os ânions (NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , Cl^- e MoO_4^{2-}) são absorvidos ativamente, com gasto de energia metabólica para superar as fortes diferenças de alta carga elétrica negativa e maior concentração no interior da célula. O processo de absorção está acoplado ao gasto de ATP e entrada simultânea do ânion acompanhado por $1-2H^+$, em um processo chamado co-transporte. Cerca de 45% da reserva de ATP nas células dos pêlos radiculares podem ser consumidos com a absorção ativa dos ânions. O boro é absorvido passivamente, seguindo o fluxo da água conduzida para o interior da planta pelo fluxo transpiracional, sendo acumulado principalmente na parede celular, onde exerce importante função em sua rigidez e flexibilidade, embora desempenhe, também, outras funções metabólicas importantes. Assim, qualquer excesso existente no solo facilmente provoca toxicidade na planta, pois ela não possui mecanismo eficiente de exclusão do nutriente de suas células e tecidos.

Metabolismo, funções e deficiências

Os nutrientes exercem funções estruturais (todos são componentes de moléculas orgânicas, exceto o potássio), metabólicas e enzimáticas (são catalisadores de reações ou fazem parte de enzimas com função catalítica) e fisiológicas (promovem pressão de turgor interna necessária à turgidez da planta, à absorção contínua de água e ao crescimento em expansão das células).

O nitrogênio está presente em todas as proteínas e aminoácidos, especialmente na clorofila. Sua deficiência promove atraso no crescimento e perda de intensidade de cor verde em toda a planta seguida de amarelecimento das folhas do baixeiro. As folhas secam e caem precocemente, prejudicando a produtividade e a qualidade da fibra.

O potássio catalisa a atividade de mais de 60 enzimas na planta, sendo adicionalmente oportuno para a eficiência no uso da água, no aumento da fotossíntese, na translocação dos carboidratos formados para os frutos e na pressão de turgor necessária para promover maior crescimento da célula que formará a fibra; por outro lado, sua deficiência provoca clorose internerval nas folhas do baixeiro, seguida de necrose nas margens e queda das folhas,

podendo provocar forte perda na produtividade e na qualidade das fibras. O ataque de *verticillium* é parecido com a deficiência de potássio, porém se diferencia deste pela presença de necrose na região internerval, podendo ocorrer fora da região do baixeiro e se dá em reboleira no campo. Deficiências de potássio no período de enchimento dos frutos podem mostrar-se por clorose internerval nas folhas do terço superior da planta, apresentando semelhança com os descritos nas folhas do baixeiro.

O fósforo é o nutriente envolvido em todas as transferências de energia na planta; sua deficiência reduz a fotossíntese, o acúmulo de carboidratos e sua translocação para os frutos, às quais se seguem eventos em cadeia que resultam em aumento da queda de botões florais, redução no tamanho dos capulhos e na qualidade das fibras. As folhas do baixeiro ficam com clorose marginal que evoluem para necrose e secamento completo, além da produtividade ser fortemente reduzida.

As deficiências de cálcio não são comuns no campo. O nutriente dá estabilidade à membrana plasmática e à parede celular. Em geral, os efeitos da acidez do solo e da pobreza dos demais nutrientes superam ou se expressam mais rápido do que o de deficiência desse nutriente nas lavouras.

O magnésio faz parte da molécula da clorofila. Sua deficiência provoca clorose internerval nas folhas. As deficiências de magnésio se manifestam em áreas grandes ou setores do campo por meio de avermelhamento das folhas do baixeiro. A ocorrência de alagamento na área, compactação do solo ou da doença do vermelhão, pode confundir os sintomas, porém estes ocorrem em pontos isolados da lavoura.

O enxofre faz parte da clorofila e de todas as proteínas da planta. A degradação das moléculas de que participa é lenta e sua transferência na planta é muito devagar, não chegando a superar a demanda interna dos pontos de crescimento. Daí, os sintomas de deficiência aparecerem primeiro nos ponteiros por meio de uma clorose verde-amarelada, que progride de cima para baixo e pode amarelar toda a planta. A fotossíntese é reduzida, pois o elemento está presente em diversas proteínas do aparato fotossintético, desde aquelas envolvidas na captação da luz até às envolvidas na transferência dos elétrons e destoxicação

dos cloroplastos dos íons superóxidos formados neste processo. Por último, a síntese de novas proteínas é prejudicada, diminuindo o acúmulo de carbono nos tecidos. A produtividade pode ser reduzida, tanto quanto a qualidade da fibra.

O boro é conveniente para a estabilização da membrana plasmática, para a síntese de proteína e de RNA, para o transporte de carboidratos e, em especial, para evitar a produção excessiva de fenóis e controlar a disposição de celulose na parede celular, onde também participa estruturalmente, fazendo parte de algumas estruturas químicas e dando flexibilidade à parede celular para seu crescimento em expansão; sua deficiência provoca a morte da gema apical e superbrotamento da planta, os baixos teores no tecido durante o florescimento podem inviabilizar a germinação do grão de pólen tornando estéreis os óvulos e impedindo a formação das sementes e, por consequência, das fibras advindas delas. Seu fornecimento regular favorece um maior florescimento e frutificação, com reflexos positivos no aumento da produtividade e da qualidade das fibras.

Os demais micronutrientes têm influenciado muito pouco o crescimento e a produção do algodoeiro em condições brasileiras, sendo comprovado por diversos pesquisadores que seu fornecimento no plantio é suficiente para assegurar a produtividade. O molibdênio favorece o metabolismo de nitrogênio na planta; entretanto, seus teores no solo são aumentados com a calagem efetuada regularmente; os teores de Fe são naturalmente altos o suficiente nos solos tropicais para não apresentar problemas de deficiência que comprometam sua importante função na fotossíntese e nas reações de transferência de elétrons na planta. O cobre e o zinco são necessários para os processos de síntese de proteína e de destoxicação de íons superóxidos formados no metabolismo celular, dentre outras funções. Alguns autores têm mostrado que os teores no tecido foliar, observados em condições brasileiras, são reduzidos pela calagem e pela adubação com fósforo, porém sem provocar deficiência na cultura. Dentre outras funções, o manganês é necessário para a quebra da molécula de água, evolução do O_2 e permitir o começo do fluxo de elétrons na fotossíntese; ele tem sido deficiente em solos arenosos supercalcareados na Bahia, nos quais o pH tenha atingido valores superiores a 6,3. A deficiência de manganês provoca desestruturação nos cloroplastos, evidenciados por clorose internerval nas folhas do ponteiro, formando uma malha grossa sobre um fundo clorótico que contrasta com a cor verde das nervuras e regiões circunvizinhas.

Acumulação e exportação dos nutrientes

As produtividades alcançadas no cerrado são as maiores do mundo, em condições não irrigadas. Produtividades superiores a 1.800 kg/ha de fibra (300 @/ha de algodão em caroço) são comuns. Como o algodoeiro é uma planta que evoluiu sobre solos ricos em nutrientes, havendo necessidade de solos férteis para produzir bem, acumula fortemente grandes quantidades de nutrientes durante seu ciclo e, nas condições de cultivo no cerrado, ele extrai e exporta grandes quantidades de nutrientes (Tabela 3). Em geral, a exportação de micronutrientes se situa em cerca de 150 g de boro, 34 g de cobre, 2.315 g de ferro, 189 g de manganês e 79 g de zinco para cada 300 @/ha de algodão em caroço produzida.

Tabela 3. Extração total (kg/t) e exportação (kg/t e kg/300@ de algodão em caroço) de macronutrientes por sete diferentes variedades de algodoeiro no Cerrado da Bahia. São Desidério - BA, safra 2003/2004

Variedade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Extração total, kg/t de algodão em caroço						
BRS Camaçari	78,8	26,0	83,7	42,3	31,7	6,0
BRS Ipê	61,1	23,3	64,0	31,6	21,7	4,5
BRS Sucupira	82,8	30,3	88,8	46,9	34,5	7,4
BRS Aroeira	77,8	27,5	78,0	39,2	28,1	5,8
Delta Opal	61,8	22,7	64,8	33,4	22,6	5,2
Fibermax 966	58,7	24,4	64,4	30,0	22,9	5,3
Suregrow	68,2	26,4	73,8	33,1	25,7	5,9
Média	69,3	25,6	73,3	36,3	26,5	5,7
Exportação total, kg/t de algodão em caroço						
BRS Camaçari	38,6	12,5	25,1	4,6	16,8	3,6
BRS Ipê	30,0	11,2	19,2	3,5	11,5	2,7
BRS Sucupira	40,6	14,5	26,6	5,2	18,3	4,4
BRS Aroeira	38,1	13,2	23,4	4,3	14,9	3,5
Delta Opal	30,3	10,9	19,4	3,7	12,0	3,1
Fibermax 966	28,7	11,7	19,3	3,3	12,1	3,2
Suregrow	33,4	12,7	22,1	3,6	13,6	3,5
Média	33,9	12,3	22,0	4,0	14,0	3,4
Exportação total para uma produtividade de 300@/ha, em kg/ha*						
BRS Camaçari	173,8	56,1	113,0	20,9	75,6	16,2
BRS Ipê	134,8	50,3	86,4	15,6	51,8	12,2
BRS Sucupira	182,6	65,4	119,9	23,2	82,2	19,9
BRS Aroeira	171,7	59,4	105,3	19,4	67,1	15,6
Delta Opal	136,3	49,1	87,5	16,5	53,9	14,1
Fibermax 966	129,3	52,7	87,0	14,8	54,6	14,2
Suregrow	150,3	57,0	99,6	16,4	61,2	15,9
Média	152,7	55,4	98,9	17,9	63,1	15,3

*Quantidades estimadas a partir dos seguintes coeficientes de exportação: N – 49%, P₂O₅ – 48%; K₂O – 30%; CaO – 10%; MgO – 53% e S – 60% (FUNDAÇÃO MT, 1997; STAUT e KURIHARA, 2001). A Produtividade média obtida no ensaio foi de 3.561 kg/ha (maior, Fibermax 966 com 4.037 kg/ha; menor, BRS Sucupira com 3.197 kg/ha) assim a extrapolação para maior nível de produtividade tende a superestimar a exportação, pois as variedades mais produtivas produzem relativamente mais algodão em caroço por unidade de nutriente exportada.

A eficiência de extração (kg de nutrientes absorvido por cada 100 kg de nutriente aplicado na adubação) dos nutrientes pela planta é variável de acordo com o elemento, o teor de argila do solo e a dose aplicada. Tem-se demonstrado que essa eficiência varia de 100 a 45%, quando se utilizam doses de N de 20 a 350 kg/ha; de 4,5 a 18,1% para P, quando se cultiva solos com teor de argila de entre 150 e 600 g/kg (ou cerca de 0 a 40 mg/L de P remanescente em uma amostra agitada com 60 mg/L de P em 0,01 mol/L de CaCl_2 por 1h) e 53,6 a 6,8% ainda para fósforo, quando se variam as doses de P_2O_5 de 0 a 300 kg/ha; de 90,7 a 40,9% para potássio, quando se varia a aplicação de K_2O de 0 a 300 kg/ha; de 30,8 a 5,4% para boro, quando se varia a dose desse nutriente de 0 a 10 kg/ha; e cerca de Ca-50%, Mg-55% e S-50%, quando esses nutrientes são usados como fertilizantes; a taxa de recuperação é muito baixa quando se considera o seu uso como corretivo da acidez. Assume-se que a taxa de recuperação de Cu, Fe, Mn e Z seja próximo de 5%; assim, maiores quantidades que as exportadas pela planta devem ser aplicadas apenas para manter o sistema sustentável. Mais adiante, quando se discutir a adubação com NPK, este tema será novamente abordado.

Os nutrientes acumulados na parte aérea retornarão ao solo após sua incorporação e mineralização. As quantidades dependem da produção de material vegetal da área, que se situa em cerca de 4 a 7 t/ha de matéria seca somente da parte aérea para as condições da Bahia, e dos teores de nutrientes encontrados em cada órgão da planta. Na Tabela 4 são fornecidos os dados gerais de teores que têm sido encontrados e das taxas de mineralização normalmente trabalhadas para restos de leguminosas e gramíneas. As taxas de liberação de nutriente anual

Tabela 4. Teores de nutrientes presentes nas diversas partes da planta do algodoeiro e taxas de liberação anual esperada para palhadas de diferentes famílias de plantas cultivadas

Parte	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	kg/t						g/t					
Folha*	39,0	3,3	20,0	28	5,5	6	40	15	145	163	1	113
Caule	14,8	2,6	17,5	7,6	1,2	3,9	96,4	3	168	36	-	27
Raiz	11,3	2,2	10,1	2,0	1,2	2,3	102	2	106	203	-	26
Fibra	3,0	1,0	8,8	2,1	0,6	1,4	2,8	45	43	85	-	132
Grão	41,2	7,4	12,1	1,8	5,5	3,6	55,0	12	54	15	-	56
Palhada	18,2	2,5	14,9	11,0	2,2	3,8	77,5	4	147	63	-	25
Taxa de liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos, em % do elemento presente												
Gramíneas	75	60	85	53	47	60	60	60	60	60	-	60
Leguminosas	95	80	95	73	67	80	80	80	80	80	-	80
Média	85	70	90	63	57	70	70	70	70	70	-	70

Fonte: *Valor médio (Silva, 1999); Possamai (2003) de diversos autores.

da palhada do algodoeiro devem aproximar-se daquelas das gramíneas ou estar entre esses dois grupos de culturas. Este é um tema aberto para futuras pesquisas.

Diagnose foliar

Os teores de nutrientes presentes nas folhas são reflexos das condições de fertilidade dos solos e da adubação a que a cultura está submetida. Assim, existe uma relação direta entre os teores presentes no solo e aqueles presentes nos tecidos foliares e destes com a produtividade, até determinado limite. Como os teores dos diferentes nutrientes variam também com o órgão analisado e com sua idade fisiológica, é preciso padronizar e seguir este critério para se ter uma amostra representativa.

Em geral, recomenda-se a coleta de 25 folhas por área homogênea (talhão, pivô, cultura anterior, adubação, correção, produtividade alcançada etc) colhidas de 25 plantas diferentes, sendo a folha retirada da 5ª posição do caule principal contada a partir do ápice, durante o período de máximo florescimento (cerca de 80 a 85 dias da germinação). Esta folha está recém-amadurecida e em equilíbrio fisiológico. As mais próximas do ápice estão importando grandes quantidades de nutrientes para seu acelerado crescimento e metabolismo; as abaixo deste ponto acumularam quantidades altas de Ca, Mg, B, Fe, Mn e Zn e podem estar redistribuindo N, P e K para outros órgãos; desta forma, elas não servem para fins de diagnóstico pelo critério de faixa de suficiência. Os teores da 5ª folha considerados adequados são os apresentados na Tabela 5, cujos valores são consistentes com o que vem sendo observado no campo.

Tabela 5. Faixa de teores de nutrientes adequados na 5ª folha a partir do ápice do algodoeiro aos 80-85 dias da germinação

Macronutrientes (g/kg)					
N	P	K	Ca	Mg	S
35-43	2,5-4,0	15-25	20-35	3-8	4-8
Micronutrientes (mg/kg)					
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
30-50	5-25	40-250	25-300	0,5-1,0*	25-200

*Tentativa. Fonte: Silva (1999). Malavolta (1987).

Adubação com Nitrogênio

O nitrogênio é o elemento mais dinâmico dentre os nutrientes usados pelas culturas. Sua abundância e disponibilidade refletem a riqueza e o equilíbrio biológico mantidos sobre e dentro do solo pela comunidade ecológica existente (plantas, micro e mesofauna e flora do solo). Cerca de 5% da matéria orgânica existente no solo se constituem de nitrogênio, cuja forma orgânica perfaz 94-96% do N total, ficando o restante para as formas absorvidas pela planta (NO_3^- e NH_4^+). Assim, à medida que a matéria orgânica no solo diminui ou aumenta, a reserva de nitrogênio a segue.

Em solo nativo de cerrado foram encontrados de 0,7 a 6,0%, com 83% das amostras superando 1,5% de matéria orgânica e 60,4% das amostras contendo 1,5 a 3,0%. Para uma profundidade de 0-30 cm e densidade de solo igual a $1,0 \text{ kg/dm}^3$, isto corresponde a uma reserva de 1,05 a 9,00 t/ha de nitrogênio total, ou seja, cerca de 2,25 a 4,50 t/ha na maioria das amostras de solo. Admitindo-se um potencial de mineralização de 5% por ha/ano (pluviosidade normal e $\text{pH} > 5,5$, (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985), observa-se um potencial de suprimento de 53 a 450 kg/ha/ano (113 a 225 kg/ha/ano na maioria das amostras). Evidentemente, mais nitrogênio estará entrando no ambiente pela fixação biológica por organismos de vida livre, por bactérias associadas às raízes de leguminosas e pelas descargas elétricas na atmosfera, mas outras quantidades estão sendo perdidas por lixiviação, imobilização na biomassa microbiana e erosão natural, que tenderão a manter o sistema em equilíbrio.

Todo este exercício de cálculo é para mostrar que as quantidades de N disponibilizadas pelo ambiente são insuficientes para cobrir a demanda média total de nitrogênio pela cultura do algodão (cerca de 312 kg/ha/ano, para uma produção de 300@/ha, Tabela 3), sendo necessária a aplicação de adubos nitrogenados para complementar a oferta do sistema; entretanto, pelos dados obtidos, verifica-se que o sistema mantém estável no tempo uma quantidade de nutriente passível de ser manejada para uso do algodoeiro, com complementação por meio da adubação apenas para cobrir a exportação promovida pela colheita do algodão em caroço (algo em torno de 120 a 150 kg/ha/ano, calculados das Tabelas 3 e 4). Este manejo permite superar a demanda total do algodoeiro por nitrogênio e fornecer as quantidades mínimas exigidas para a obtenção de altas produtividades.

Esse manejo é racionalmente feito quando se mantém o cultivo sob Sistema de Plantio Direto ou Semi-Direto, pois os teores de matéria orgânica e, por consequência, de nitrogênio são, em geral, aumentados no tempo, diminuindo a carência de nitrogênio do sistema. Em sistema convencional, os teores de matéria orgânica são reduzidos rapidamente, quando se eleva o pH acima de 6,0 e se revolve o solo anualmente (Figura 3). Isto diminui o estoque de nitrogênio no solo e impõe a necessidade de se aplicar maiores quantidades de nitrogênio para alcançar altas produtividades. Neste caso, o risco de contaminação ambiental é muito mais alto, pois, não havendo estoque de carbono e atividade biológica significativa no solo, o nitrogênio aplicado e não absorvido pela cultura fatalmente lixiviará para o lençol freático.

Os resultados de pesquisas, conduzidas em Goiás e em outros estados, possibilitam afirmar que doses de N em cobertura acima de 120-130 kg/ha, principalmente em condições de sequeiro, não são econômicas (Figura 6). Em Santa Helena, GO, obteve-se uma produtividade máxima com 175 kg/ha de N, porém a dose econômica foi de 114 kg/ha, considerando-se a relação de preços produto/insumo vigente, permitindo uma economia de 61 kg/ha de N. Em Montividiu, estimou-se a dose de máxima eficiência econômica em 175 kg/ha de N para produzir 3.934 kg/ha de algodão naquelas condições, com cobertura de braquiária de elevada relação C/N (> 30), quando a adubação foi parcelada em 40 kg/ha em pré-plantio, 15-20 kg/ha no sulco e o restante em duas coberturas. Acima dessa dose, os acréscimos em produtividade não compensaram o investimento. A dose de máxima eficiência econômica para as aplicações apenas em pré-plantio foi 127 kg/ha de N e, para a aplicação em cobertura, de 135 kg/

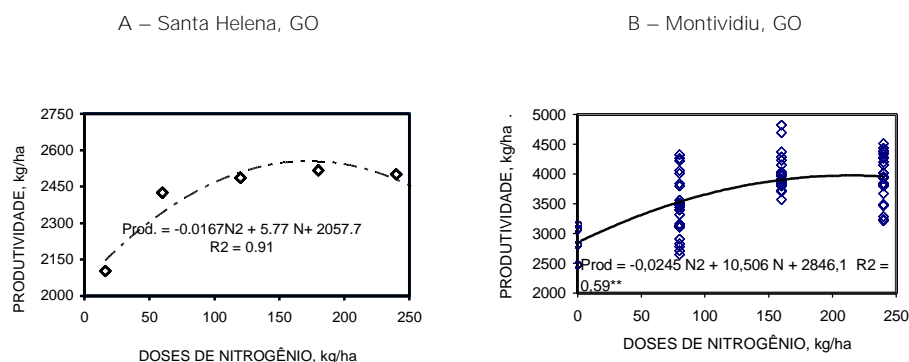


Fig. 6. Produtividade de algodão em caroço em função de doses de N em cultivo sob plantio convencional em Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003 (A) e sob plantio direto em Montividiu, GO na safra 2004/2005 (B).

ha de N. Observou-se que a aplicação total da menor dose no sulco ou em pré-plantio não forneceu o nutriente necessário para a planta produzir satisfatoriamente, porém esta dose melhorou sua efetividade, quando parcelada e adicionada em cobertura (Figura 7), especialmente, quando aplicada nas proximidades do abotoamento e do florescimento do algodoeiro (Figura 8). Na presença de palhada com relação C/N > 30 (milho, braquiária), é recomendável

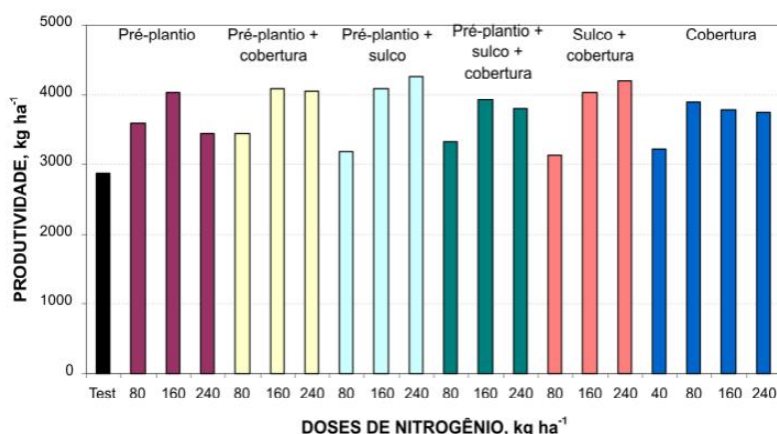


Fig. 7. Produtividade de algodão em caroço em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio no sistema de integração lavoura-pecuária, em Montividiu, GO, safra 2002/2003.

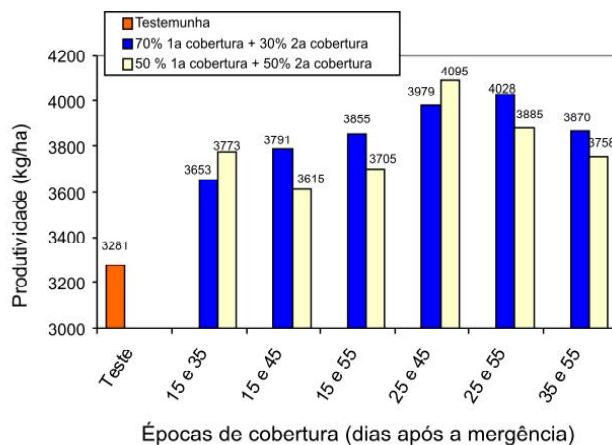


Fig. 8. Produtividade de algodão em caroço em função de épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura, em sistema de plantio direto com palhada de milho e braquiária. Dose de N em cobertura = 120 kg/ha. Montividiu, Goiás, safra 2003/2004

antecipar a primeira cobertura para evitar deficiência de nitrogênio devido à imobilização pela biomassa microbiana do solo. Se o algodão for cultivado após a soja, a adubação nitrogenada poderá ser reduzida em até 20%. A uréia não deve ser aplicada a lanço na superfície do solo, sobretudo se houver palhada, para evitar perdas de nitrogênio por volatilização. Em todo caso, se deve fazer um controle rigoroso do crescimento da planta para garantir que a produção adicional obtida seja transformada em fibra e não em estruturas vegetativas.

Na safra 2004/2005, testou-se a antecipação da adubação nitrogenada em sistema de integração lavoura pecuária. Observou-se que não há diferença na resposta em produtividade quando se antecipam 30 a 120 kg/ha de nitrogênio em pré-plantio do algodoeiro, 18 dias antes da dessecação da braquiária (Figura 9). Do mesmo modo, a aplicação do N (30 a 120 kg/ha) em pré-plantio sobre a palhada do milheto, oito dias antes do plantio do algodoeiro, não se diferenciou da produtividade alcançada em condições normais de parcelamento da dose de nitrogênio nos inícios do abotoamento e do florescimento, apesar do uso de doses de 30 e 60 kg/ha serem preferíveis neste caso, por superar as produtividades obtidas com doses maiores em pré-plantio (Figura 9). Neste experimento, a resposta a doses de N foi significativa até 60 kg/ha, a partir do qual houve crescimento vegetativo sem aumento correspondente na produtividade, ocorrendo, inclusive, redução da % de fibra (Figura 10).

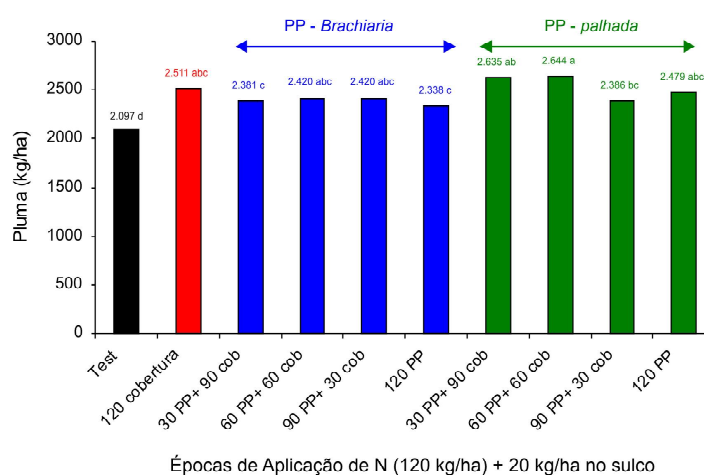


Fig. 9. Efeito da antecipação da adubação nitrogenada sobre a produtividade do algodoeiro no sistema de integração lavoura pecuária, sobre braquiária, e no sistema de plantio direto sobre palhada de milheto. PP - *Brachiaria* = aplicação de N 18 dias antes da dessecação; PP - palhada = aplicação de N 8 dias antes do plantio do algodão. Montividiu, GO, safra 2004/2005.

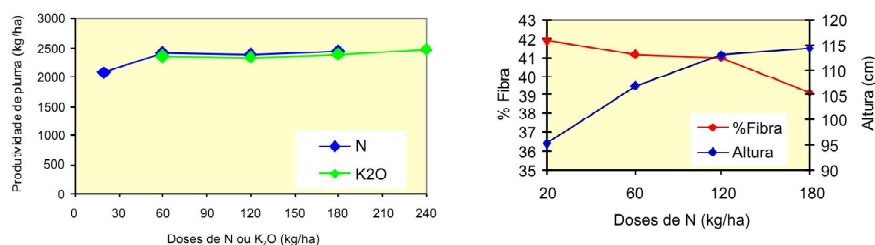


Fig. 10. Produtividade de pluma, percentagem de fibra e altura de planta de algodão, em função de doses crescentes de nitrogênio em sistema de plantio direto. Montividiu, GO, safra 2004/2005

Observou-se, na Bahia, forte crescimento vegetativo do algodoeiro com as doses crescentes de nitrogênio (Figuras 11 e 12), agravado pela dificuldade em se controlar o crescimento da cultura em virtude do intenso período chuvoso da safra 2003/20004. A cultura respondeu não só à aplicação das doses crescentes mas, também, ao parcelamento, indicando que efetivamente este aumenta a eficiência de extração e aproveitamento do nutriente pela planta (Figura 13) e se deve levar em consideração para evitar desperdício de N e aumento inconveniente dos custos de produção.

Em solo fértil bem manejado, a aplicação dos nutrientes necessários para repor as quantidades exportadas pode ser uma medida efetiva para racionalizar a adubação nitrogenada.

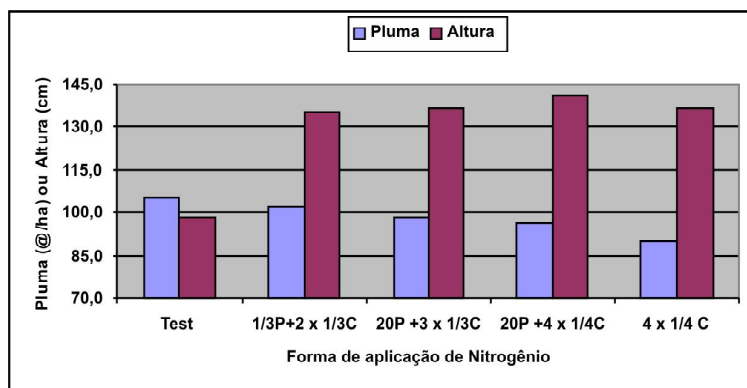


Fig. 11. Produção de pluma e altura do algodoeiro influenciado pela forma de aplicação do nitrogênio. OBS.: Test.: testemunha; P: plantio; C: cobertura; 20P = 20 kg/ha no plantio. São Desidério, BA, safra 2003/2004.

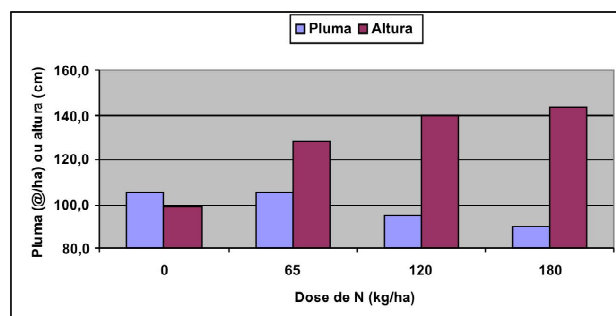


Fig. 12. Produção de pluma e altura do algodoeiro influenciado por doses de nitrogênio. São Desidério, BA, safra 2003/2004.

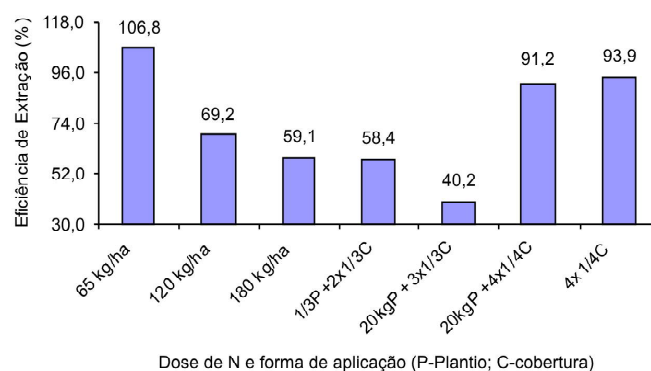


Fig. 13. Eficiência da adubação nitrogenada, em termos de extração total, em função de dose e forma de aplicação. São Desidério, BA, safra 2003/2004.

Adubação com Fósforo

O algodoeiro é cultivado em solo de cerrado corrigido em sua fertilidade. Desta forma, a etapa de construção da fertilidade, como sugerem Sousa et al. (2004) e Vilela et al. (2004), já está feita e resta fazer a melhor adubação de manutenção possível para manter o solo produtivo e o sistema rentável. Sob plantio convencional, é comum o uso de 120 a 150 kg/ha no primeiro ano de cultivo do algodoeiro, a lanço, usando-se superfosfato simples, logo após a rotação com a soja no Estado da Bahia, em sua maior área sob plantio convencional. Em Goiás, grande parte do algodoeiro é manejada sob sistema de plantio direto ou semi-direto, sobre a palhada do milheto, onde a adubação de pré-plantio é de uso constante.

A adubação de pré-plantio facilita o manejo da cultura, pois aumenta o rendimento da plantadeira. Sabe-se que a eficiência de uso pelas plantas da adubação fosfata é menor quando ela é aplicada a lanço em área total, incorporada ou não. Dada a necessidade de reduzir custo e manter a produtividade, é imperioso saber qual o modo mais efetivo de se fazer esta adubação. Por meio dos ensaios conduzidos em Ipameri, Santa Helena e Silvânia, no Estado de Goiás, se tem observado que o modo de aplicação do fósforo é indiferente sobre a produtividade do algodoeiro, sendo as respostas às doses mais efetivas (Figura 14). Em Ipameri, com a aplicação de 197 kg/ha de P_2O_5 obteve-se a produtividade máxima (4.461 kg/ha), porém a dose de maior eficiência econômica foi de 141 kg/ha (4.387 kg/ha) e a de 80 kg/ha já permitiu, neste solo, produção de 4.226 kg/ha.

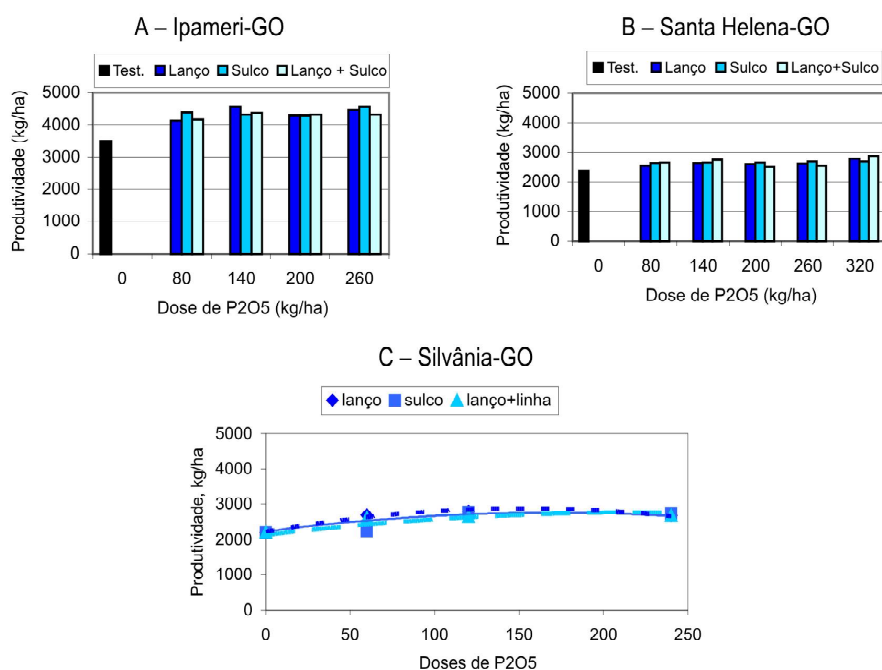


Fig. 14. Produtividade de algodão em caroço em função de modos e doses de aplicação de fósforo no sistema plantio direto (A – Ipameri, solo argiloso com 4 mg/dm³ de P), no sistema de plantio convencional (B - Santa Helena, solo argiloso com 10 mg/dm³ de P disponível) e em sistema de plantio direto sob palhada (C - Silvânia, solo argiloso com 3,9 mg/dm³ de P disponível). Goiás, safra 2003/2004.

Em Santa Helena, a dose de 80 kg/ha de P_2O_5 foram suficientes para alcançar a máxima eficiência, enquanto em Silvânia não houve resposta significativa a modo e dose de aplicação, apesar da tendência de crescimento observada até as doses de 225, 153 e 169 kg/ha de P_2O_5 (produtividades máximas de 2.765, 2.873 e 2.754 kg/ha de algodão em caroço, respectivamente) para as aplicações no sulco, lanço e lanço + sulco. Claramente, nesta última localidade, a dose de 80 kg/ha é suficiente para manter o sistema produtivo com baixa custo em adubação fosfatada (Figura 14C).

Os níveis de fósforo na folha foram compatíveis com os considerados adequados, mas curiosamente maiores nos tratamentos em que o fósforo foi aplicado a lanço.

Em São Desidério, BA, constatou-se resposta em produção e crescimento vegetativo até as doses de 40 e 80 kg/ha de P_2O_5 (Figura 15). As fortes chuvas da safra 2003/2004 favoreceram o crescimento vegetativo do algodoeiro, em detrimento de seu crescimento em produção. O solo, cujo teor de argila é 170 g/kg, foi manejado sob sistema de plantio convencional e tinha 10,5 mg/dm³ (Mehlich-1), considerado médio. A eficiência de extração pela planta do nutriente aplicado caiu de 37,9 para 8,2% (média de 15,6%) com o aumento das doses de 40 até 320 kg/ha (Figura 15), evidenciando que a maior parte do nutriente foi acumulado no solo e doses de 80 kg/ha são suficientes para manter os níveis de produtividade alcançados (cerca de 4.000 kg/ha).

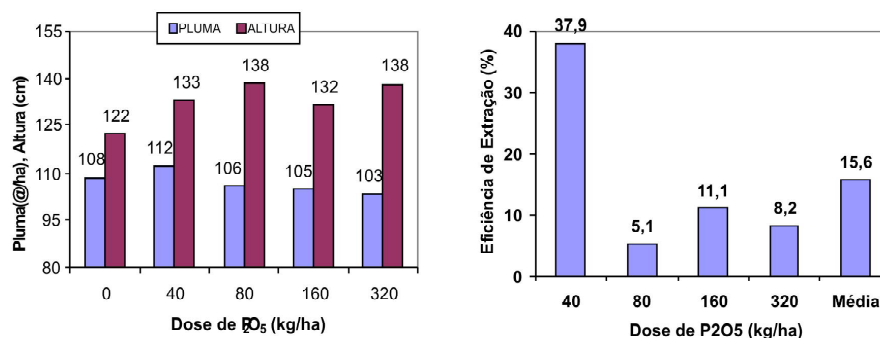


Fig. 15. Resposta em crescimento e produção de pluma e eficiência de extração de P do algodoeiro em função de doses crescentes de P_2O_5 aplicadas no sulco de plantio. São Desidério, BA, safra 2003/2004.

Zancanaro (2004, 2005) têm mostrado comportamento semelhante da adubação fosfatada em solos do Mato Grosso. Seus dados mostram a efetividade da análise de solo e da necessidade de acompanhamento do histórico da área e do patamar local de produtividade na definição do manejo adequado da adubação fosfatada.

Adubação com Potássio

Segundo Vilela et al. (2004), solos de cerrado com teores entre 31 e 40 mg/dm³ e superiores são considerados adequados e altos, respectivamente, se tiverem CTC a pH 7,0 menor que 40 mmol_c/dm³. Acima desta CTC, os solos precisam alcançar os teores de 51 a 80 e superiores a este para terem potássio adequados e altos, respectivamente, para o cultivo da maioria das culturas anuais. Segundo os autores, nesses níveis de fertilidade, é recomendado a definição da dose de K₂O a ser aplicada com base na exportação da área e na expectativa de produção.

Diversos ensaios foram montados em Goiás, na safra 2002/2003 e 2003/2004, em plantio direto, e na Bahia, na safra 2003/2004, em plantio convencional, visando estudar doses e modo de aplicação de potássio. No primeiro ensaio, em solo de baixa fertilidade com 23 mg/dm³ de K, com doses crescentes de N e K, foi encontrada, em Santa Helena, GO, uma produtividade máxima (2.611 kg/ha) com a dose de 193 kg/ha de K₂O, porém como a relação de preços insumo/produto, na época, mostrou-se que a máxima eficiência econômica se deu com a dose de 170 kg/ha (2.600 kg/ha), com uso de 64 kg/ha no plantio e o restante parcelado em duas aplicações aos 25-30 e 45-50 dias do plantio (Figura 16). O potássio aplicado reduziu os teores no tecido de Mg e Ca e, acima de 160 kg/ha, comprovou-se uma tendência de queda na produtividade, possivelmente, em virtude dos teores baixos de Mg existentes no solo usado.

Em Turvelândia, Goiás, avaliou-se a eficiência da adubação potássica, com relação às doses, modos (sulco, lanço e parcelada) e época de aplicação (pré-plantio, plantio e cobertura), em sistema plantio direto, em solo com 570 g/kg de argila, 90 mg/dm³ de K e relação (Ca + Mg)/K igual a 22. Os melhores resultados foram obtidos com a aplicação do total a lanço em pré-plantio ou com o parcelamento no sulco mais duas coberturas (Figura 17), obtendo-se respostas

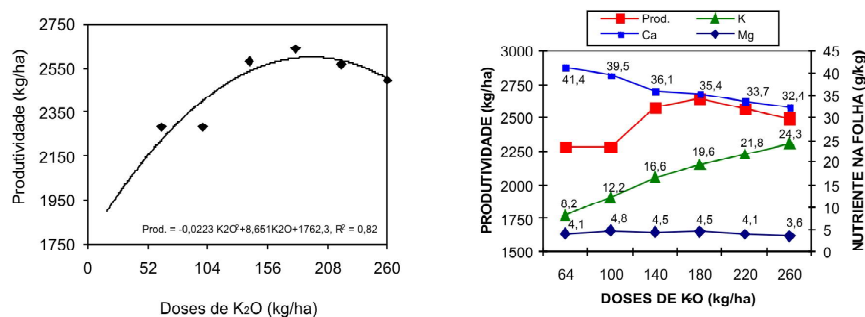


Fig. 16. Produtividade de algodão em caroço e teores foliares de Ca, Mg e K, em função de doses de K₂O. Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003

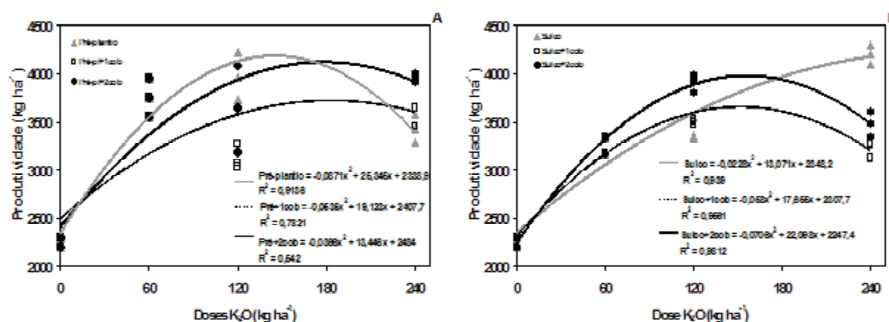


Fig. 17. Produtividade de algodão em caroço em função das doses de K₂O aplicados em pré-plantio (A) ou no sulco de plantio (B), de uma única vez, com uma e duas coberturas. Turvelândia, safra 2002/2003

econômicas com a aplicação de até 140 kg/ha de K₂O. Observou-se que a eficiência agrônômica da adubação ($[produção_{doseK_2O} - produção_{testemunha}] / dose_{K_2O}$) diminuiu com o aumento da dose aplicada e a aplicação do total em pré-plantio, na cultura de cobertura, foi mais eficiente.

Em São Desidério, BA, houve resposta até 40 kg/ha de K₂O apenas na safra 2003/2004, de vez que as fortes chuvas impediram o controle satisfatório do crescimento da planta e aumentaram o apodrecimento de maçãs (Figura 18). Assim, a planta absorveu o potássio aplicado, como se observa pelos teores no pecíolo, mas a produtividade não teve o aumento esperado. Curiosamente, com a aplicação de 320 kg/ha de K₂O, parcelados no plantio e mais duas coberturas, não se conseguiu elevar os teores de K disponível existente (cerca de 39 mg/

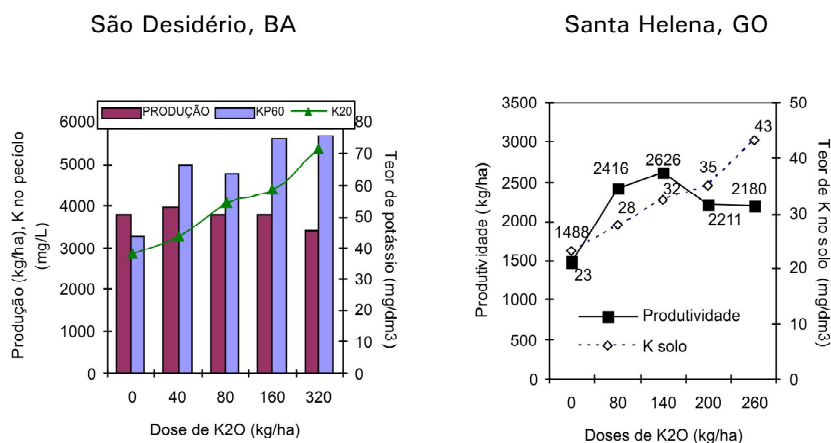


Fig. 18. Variação na produção de algodão em caroço, teor de potássio no pecíolo e no solo, em função de doses de K₂O, em dois locais de cultivo. Santa Helena, GO, safra 2002/2003, e São Desidério, BA, safra 2003/2004

dm³) além de 70 mg/dm³, evidenciando fortes absorção pela planta e lixiviação do solo. Em Santa Helena, GO, com a aplicação de 260 kg/ha de K₂O, somente obteve-se dos teores de 23 a 43 mg/dm³, provavelmente, pelos mesmos motivos (Figura 18). Na safra 2003/2004, realizou-se um estudo de calibração em duas localidades de Goiás, ambas com distribuição a lanço após o plantio (Figura 19). Em Ipameri, em sistema plantio direto, não houve resposta além da dose de 94 kg/ha de K₂O e, em Santa Helena, em sistema convencional,

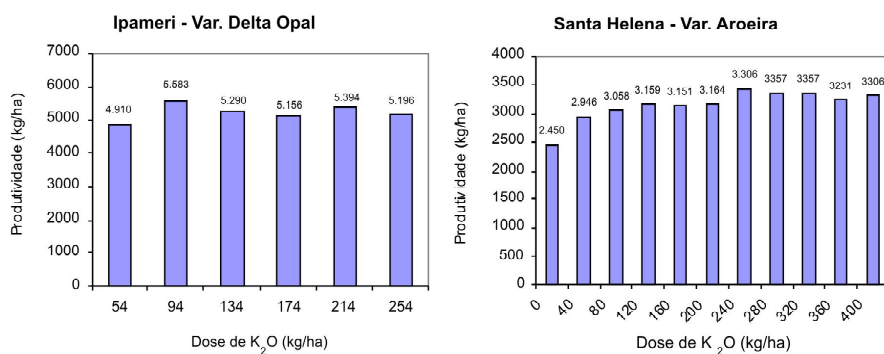


Fig. 19. Resposta do algodoeiro a doses de potássio em Ipameri (solo com 45 mg/dm³ de K), em sistema de plantio direto e em Santa Helena de Goiás (solo com 63 mg/dm³ de K), em sistema convencional. Safra 2003/2004.

também não ocorreu resposta com doses superiores a 80 kg/ha.

O nível crítico de K disponível no solo foi de $0,25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ($98 \text{ mg}/\text{dm}^3$) e acima de $0,35 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ($137 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a produtividade começa a cair (Figura 20). Observou-se que a produção tendeu a cair quando a relação $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ foi superior a 33, indicando que, mesmo em solos com teores absolutos de K considerados adequados, pode haver resposta do algodoeiro à adubação

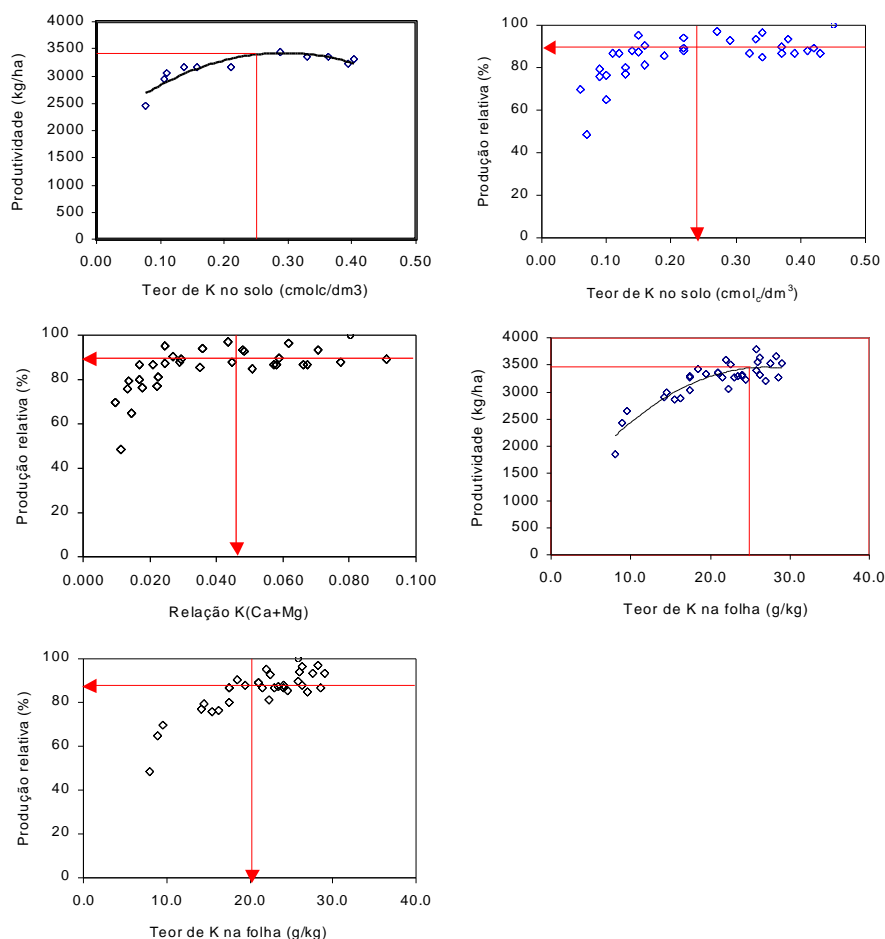


Fig. 20. Relação entre teor de K no solo, sua relação $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})$, teor foliar e produtividade ou produção relativa de algodão. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004

potássica, se acontecer um desbalanço em relação aos cátions Ca e Mg. Contudo, foi pouca a variação da produção, quando a relação $(Ca + Mg)/K$ variou de 10 a 25. O teor de K na folha, associado à máxima produtividade, esteve na faixa de 20 a 25 g/kg.

A aplicação do potássio permitiu sua maior absorção pela planta, redução na relação N/K e aumento da resistência do algodoeiro às manchas de alternária e de ramulária (Figuras 21, 22 e 23) e a aplicação a lanço em pré-plantio foi mais efetiva no aumento dessa resistência. Isso mostra que plantas bem nutridas em K e com tolerância às manchas foliares podem reduzir, também, o custo do controle fitossanitário no algodoeiro.

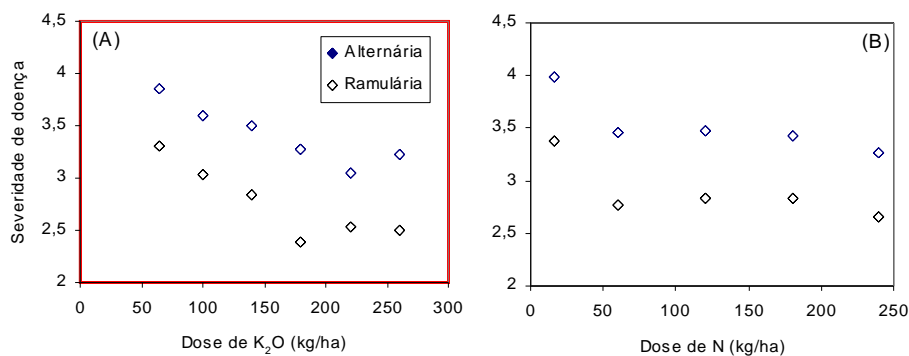


Fig. 21. Grau de severidade das manchas de alternária e ramulária no algodoeiro, em função de doses de K_2O (A) e N (B). Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003.

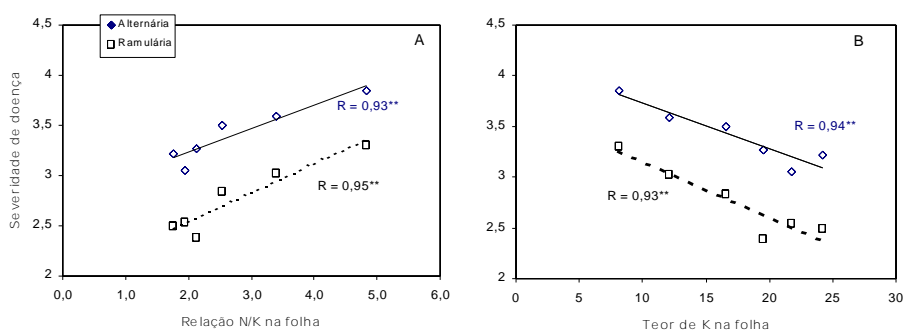


Fig. 22. Relação entre a relação N/K (A) ou teor de K (B) na folha do algodoeiro e severidade das manchas de ramulária e alternária. Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003.

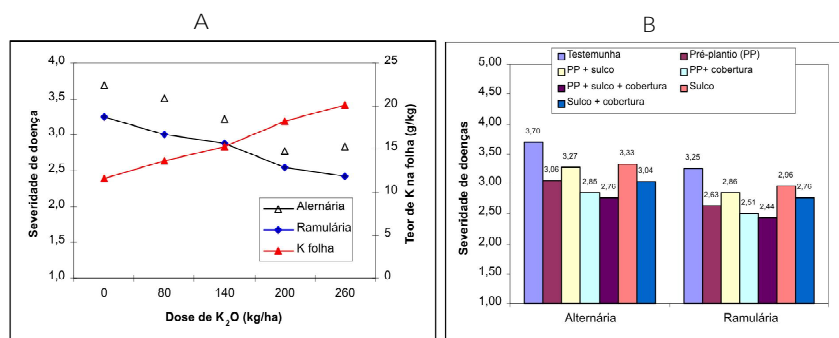


Fig. 23. Relação entre o grau de severidade das manchas de alternária e ramulária no algodoeiro, teor de K na folha (A) e grau de severidade, em função das épocas de aplicação de K_2O (B). Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003.

Em Santa Helena, GO, o modo de aplicação do potássio tem pouca influência sobre o padrão de resposta da cultura (Figura 24), como já visto para outras culturas anuais no cerrado e solos com teores adequados de potássio; desta forma, a adubação em pré-plantio na cultura de cobertura ou, mesmo, a aplicação da dose total logo após o plantio, pode ser uma alternativa viável para o agricultor, por otimizar o uso das máquinas e equipamento de distribuição do adubo e aumentar o rendimento da operação de plantio.

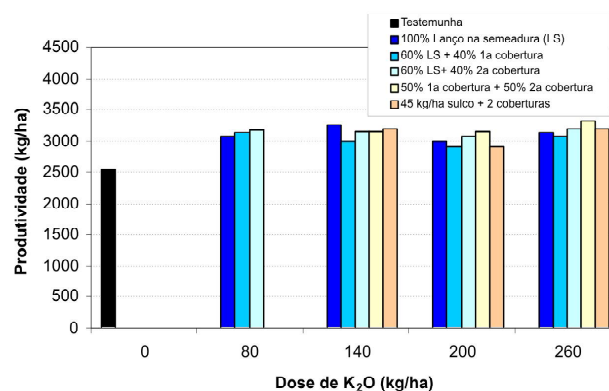


Fig. 24. Produtividade de algodão em caroço em função de doses e época de aplicação de potássio, em solo com 500 g/kg de argila e 63 mg/dm³ de K. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

Comprovou-se, em São Desidério, BA, que a aplicação de parte da adubação potássica, em cobertura, aumenta a eficiência de extração pela planta, diminuindo as perdas por lixiviação (Figura 25). O uso de doses elevadas tende a reduzir a eficiência de extração e aumentar as perdas, pois pouco acúmulo no solo foi medido após a colheita. No momento, os consultores têm recomendado lançar todo o K_2O aos 15 dias do plantio. Entretanto, a efetividade desta prática está sendo testada.

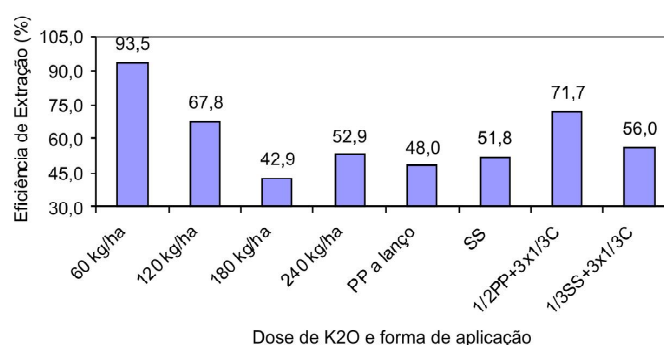


Fig. 25. Eficiência da adubação (em termos de extração pela planta) em função de doses e modo de aplicação de potássio no algodoeiro. PP: pré-plantio a lanço; SS: sulco de plantio; e C, cobertura. São Desidério, BA, 2003/2004.

A eficiência da adubação também está relacionada à capacidade de aproveitamento dos nutrientes existentes no solo e do potencial de resposta à adição dos nutrientes aplicados. Foi observado que as variedades usadas comercialmente no cerrado responderam diferentemente à aplicação de doses de potássio (Figuras 26 e 27). Na safra 2003/2004, com distribuição normal de chuvas em Santa Helena de Goiás, em solo com 63 mg/dm^3 de K, as maiores produtividades médias foram obtidas com as BRS Aroeira e Fibermax 966. Na menor dose de potássio (40 kg/ha de K_2O), as produtividades das variedades Aroeira (3.123 kg/ha) e Fibermax 966 (3.000 kg/ha) foram maiores que as variedades Ipê (2.626 kg/ha), Delta Opal (2.550 kg/ha) e Cedro (2.624 kg/ha). Estes resultados sugerem que as variedades Aroeira e Fibermax 966 foram mais eficientes em absorver o potássio do solo e acumular na planta, o que pode ser comprovado pelo maior teor de K na folha destas variedades na dose 40 kg/ha de K_2O , em comparação com as demais variedades testadas (dados não apresentados). A cv. Aroeira é reconhecidamente eficiente em condições de

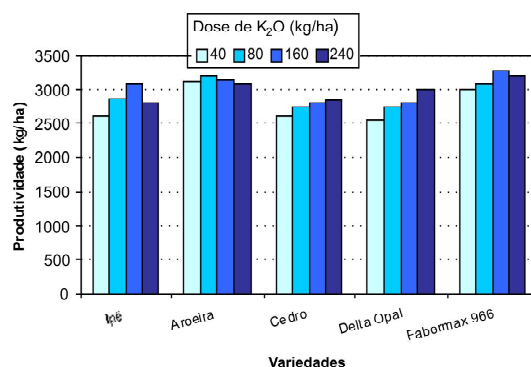


Fig. 26. Produtividade de algodão em caroço de variedades de algodoeiro, em função de doses de potássio. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

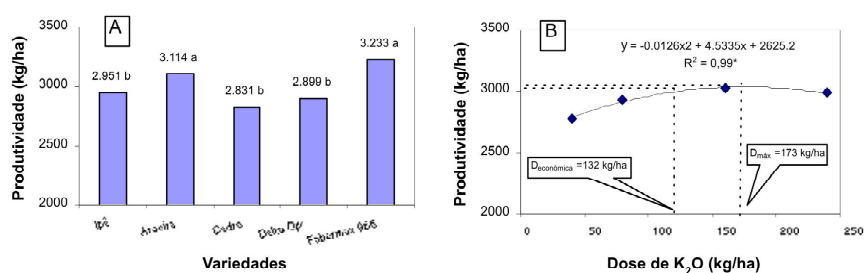


Fig. 27. Produtividade média de variedades, média das quatro doses de potássio (A), e produtividade média das quatro variedades, em função de doses de K_2O (B). Santa Helena, GO, safra 2003/2004

baixa aplicação de fertilizantes ou solo fértil, enquanto as demais são exigentes em adubação. Nesta safra, considerando-se as médias de todas as doses, as variedades Fibromax 966 e Aroeira tiveram as maiores produtividades (Figura 27A). Na média das cinco variedades, a dose que proporcionou a máxima produtividade econômica foi 132 kg/ha de K_2O (Figura 27B). Porém, considerando a produtividade de algodão em pluma, a variedade Fibromax 966 superou todas as demais, com média de 1.294 kg/ha.

Na safra 2004/2005, o experimento foi repetido em Santa Helena de Goiás, em solo com 90 mg/dm^3 de K. Nesta safra, o período de seca de 28 dias se deu na época do florescimento do algodoeiro e a cultivar BRS Aroeira se destacou, apresentando a melhor média de produtividade (Figura 28). Desta vez, as cultivares Fibromax 966 e BRS Cedro mostraram pior desempenho.

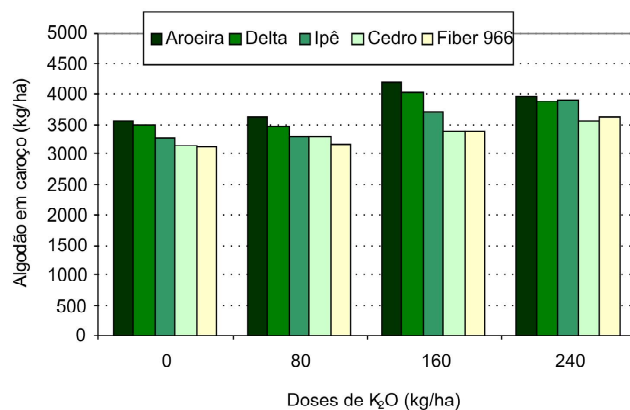


Fig. 28. Produtividade de cultivares de algodoeiro, em função de doses de potássio aplicado no solo. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005.

Conduziu-se, em Santa Helena de Goiás, na safra 2004/2005, outro experimento visando avaliar a resposta da cultivar BRS Ipê à adubação foliar, como complementação à adubação via solo (Figura 29). O solo possuía 90 mg/dm³ de K e houve um período de "veranico" na época do florescimento do algodão, que durou 28 dias. Para essas condições, verificou-se que o algodoeiro respondeu à aplicação de potássio via pulverização foliar (parcelada em quatro vezes após a segunda semana do início do florescimento) da seguinte forma: i)

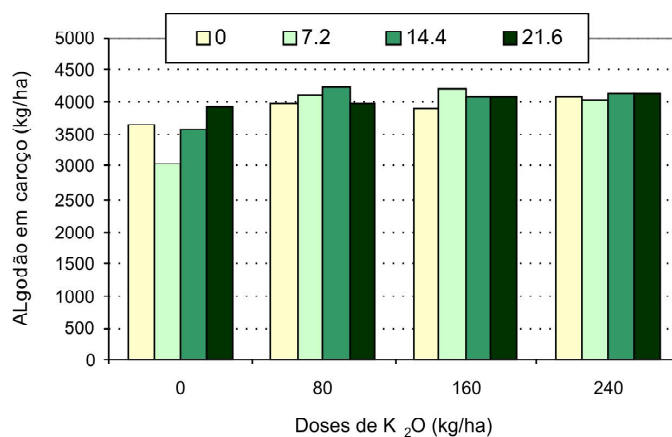


Fig. 29. Produtividade de algodão em caroço e em pluma, cultivar BRS Ipê, em função de doses de potássio via solo e via pulverização foliar. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005

aumento de 6,6% na produtividade com a aplicação de 21,6 kg/ha de K_2O via folha, quando não foi fornecido potássio via solo; ii) aumento de 6,3% na produtividade com a aplicação de 14,4 kg/ha de K_2O via folha, quando foram adicionados 80 kg/ha de K_2O no solo; aumento de 7,5% de produtividade com aplicação de 7,2 kg/ha de K_2O via folha, quando se aplicaram 160 kg/ha de K_2O no solo (Figura 29). Ressalta-se que a ocorrência de um longo período sem chuvas, no período de máximo requerimento de potássio pela planta, foi fator determinante para que houvesse resposta à aplicação foliar. Nessas condições, a absorção do nutriente do solo foi prejudicada pela falta de umidade. É muito provável que, em anos com distribuição normal de chuvas, havendo condições adequadas para a absorção do nutriente pelas raízes, a adubação foliar não tenha efeito algum sobre a produtividade, como se tem verificado em experimentos realizados no Mato Grosso e na Bahia. Assim, nesse mesmo experimento, considerando a média de todas as doses aplicadas via solo, a produtividade não foi influenciada pela pulverização foliar e, na média de todas as aplicações foliares, o algodoeiro não respondeu às doses superiores a 80 kg/ha de K_2O aplicadas via solo (Figura 30). Usando a cultivar Fibermax 966, em solo com 70 mg/dm³ de K trocável de Chapadão do Sul, MS, aplicando 340 kg/ha de formulação comercial de NPK 05-20-15%, mais duas coberturas aos 30 e 50 dias da emergência da cultura, com 270 kg/ha/aplicação da formulação 20-00-20%, Reis Júnior (2003a) conseguiu resposta ($p < 0,10$) ao uso de 28 kg/ha de KNO_3 pulverizados nas 1^a, 2^a, 3^a e 5^a semanas após o aparecimento da primeira flor. Nessas condições, elevou-se a produtividade de 270,1 a 289,2 @/ha. Esses resultados confirmam que a resposta ao uso de KNO_3 em solos bem adubados com potássio e nitrogênio não tem frequência e intensidade suficientes

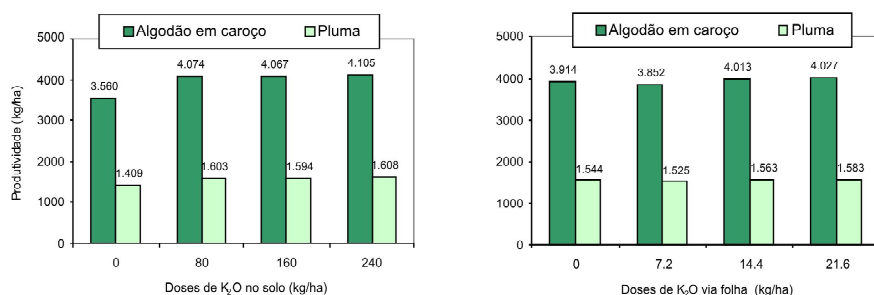


Fig. 30. Médias de produtividade de algodão, em função de doses de potássio aplicado no solo e via pulverizações foliares. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005.

para recomendação generalizada no cerrado, devendo ser usada com cuidado após os testes locais se mostrarem favoráveis.

Zancanaro et al. (2004) propuseram uma tabela de recomendação para adubação do algodoeiro com potássio para um alvo de produção de 300 @/ha (Tabela 6). Os dados obtidos até o momento têm indicado que ela é viável também para as condições da Bahia e Goiás, sobretudo porque recomenda menos potássio que o usualmente utilizado na cultura nesses Estados. Entretanto, o alvo de produtividade estimado é relativamente alto e difícil de ser alcançado pela maioria dos produtores em condições de sequeiro. As recomendações de interpretação dos teores disponíveis e de sua correção e a de adubação com alvos de produção variável (como se verá adiante), emitidos por Vileta et al. (2004), Sousa et al. (2004) e Sousa e Lobato (2004), permitem maior aderência à realidade local e um manejo mais cuidadoso da adubação do algodoeiro e deve ser adotado até que mais pesquisas esclareçam melhor os novos níveis de adubação a serem adotados.

Diversos aspectos da adubação potássica no algodoeiro no cerrado tem sido discutido recentemente por Carvalho et al. (2005), onde o leitor poderá enriquecer mais seu conhecimento no assunto.

Tabela 6. Teores de potássio no solo e quantidades de potássio sugeridas para a cultura do algodão no Estado do Mato Grosso

Teor de potássio no solo, mg/dm ³	Adubação Recomendada MT, kg/ha de K ₂ O
<40	150 a 200
40-60	120 a 140
61-80	100
>80	75*

* Quantidade de potássio equivalente à quantidade de potássio exportada pelo algodão em caroço, com produtividade de 300@/ha. Segundo dados da FUNDAÇÃO MT é de aproximadamente, 41 kg/ha de K₂O (dados não publicados).

Adubação com Micronutrientes

O algodoeiro é exigente em boro e tende a responder à adubação anual com esse nutriente. Em ensaio montado em Goiás, as fontes não se diferenciaram no fornecimento de boro à planta (Figura 31). As de solubilidade lenta

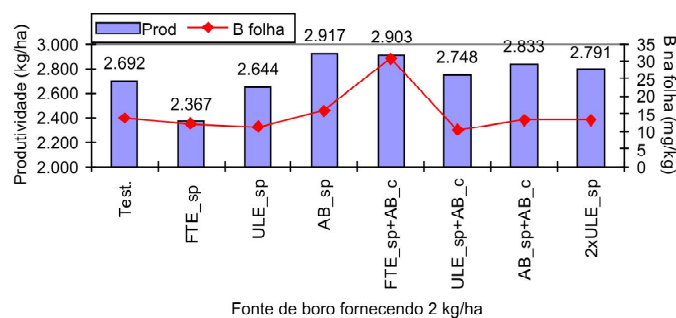


Fig. 31. Produtividade de algodão em caroço e teor foliar de boro em função de variação no uso de fontes e modo de aplicação. FTE- Fritas BR-12, ULE-Ulexita, AB- Ácido bórico; sp: sulco de plantio; c: cobertura (quando parcelado em duas aplicações, foram usados 50% de cada um ou da mesma fonte). Santa Helena, GO, safra 2002/ 2003.

aparentemente não são apropriadas para o fornecimento de boro ao algodoeiro, alcançando-se sempre maiores produtividades, em termos absolutos, quando se empregam fontes solúveis.

Em São Desidério, BA, não houve diferença na forma de aplicação nem nas doses aplicadas de B, variando de 0 a 4 kg/ha. Os melhores resultados foram obtidos com a aplicação de 0,5 kg no sulco de plantio e mais 0,5 kg em cobertura aos 40 dias após a emergência ou em pulverização foliar a partir do início do florescimento. Provavelmente, houve influência do efeito residual de dois cultivos anteriores de algodão na área do ensaio, cuja dose anual é de 4 kg/ha. Os teores, tanto no solo como na folha, foram sensíveis à variação das doses de boro usadas, mostrando a possibilidade de monitoramento dos teores com essas análises (Figura 32).

Em três ensaios montados em Goiás não se visualizou efeito significativo na forma de aplicação de boro no algodoeiro, se bem que a aplicação a lanço teve baixo desempenho e, sempre que se utilizou cobertura ou aplicação foliar (doses inferiores a 1 kg/ha) a produtividade tendeu a aumentar (Figuras 33, 34 e 35). Assim, a aplicação deve ser escolhida pelo agricultor, de modo a se obter o maior rendimento operacional no processo. Nos ensaios citados variaram-se as doses de boro de 0 a 8 (Figura 33), 0 a 12 (Figura 34) e 0 a 21 kg/ha (Figura 35) e apenas no primeiro ensaio se obteve resposta positiva com a dose de 4

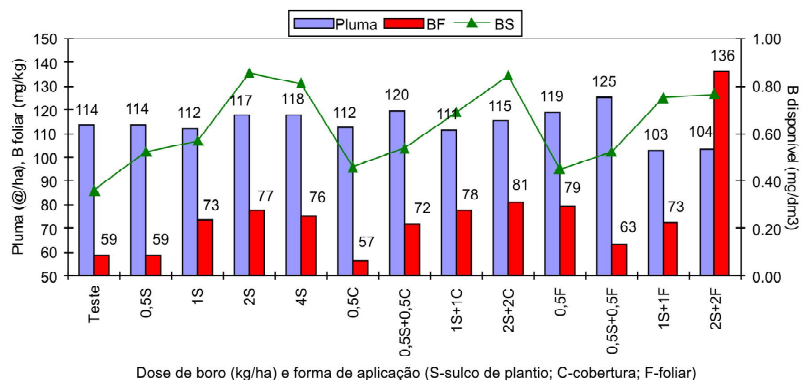


Fig. 32. Produtividade de pluma, teor de B foliar e no solo, em função de dose e época de aplicação de boro. São Desidério, BA, safra 2003/2004.

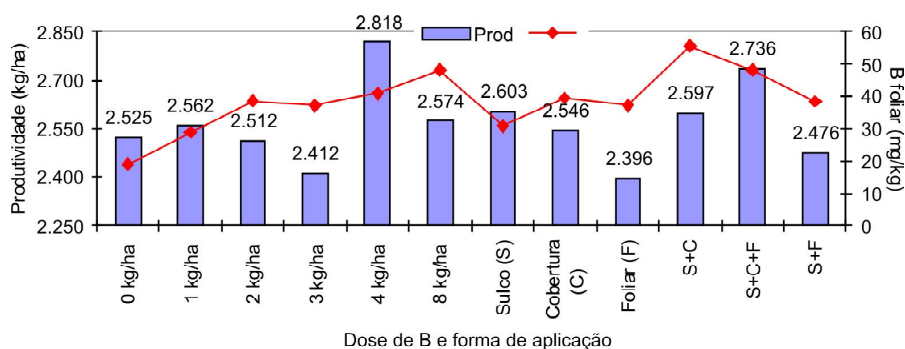


Fig. 33. Produtividade e teores de boro na folha, em função de doses, modos e épocas de aplicação de boro. Santa Helena de Goiás, safra 2002/2003.

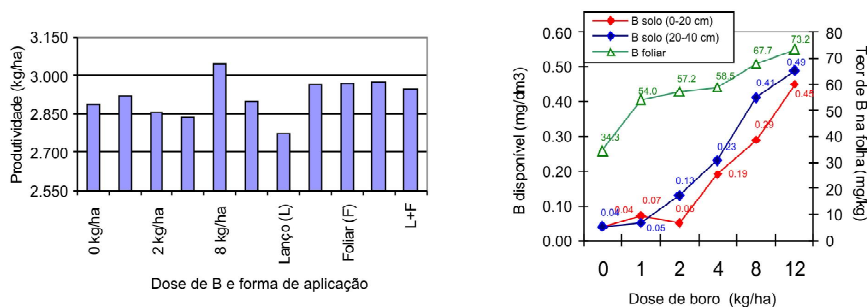


Fig. 34. Produtividade de algodão em caroço e relação entre teores de boro no solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, e na folha do algodoeiro, em função de doses de boro aplicadas a lanço no solo. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

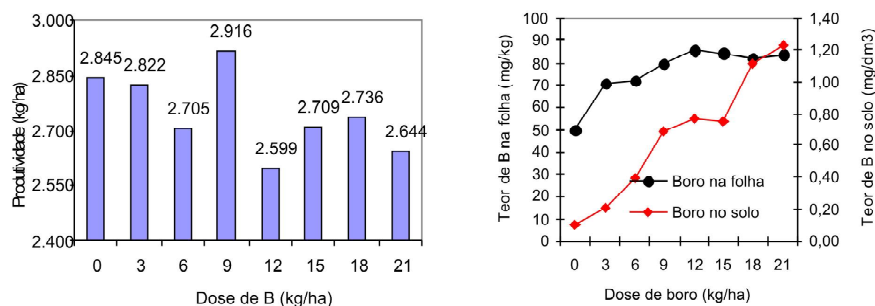


Fig. 35. Produtividade de algodão em caroço e teores de B no solo e na folha, em função da aplicação de doses de boro no solo, a lanço, Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

kg/ha. Nos demais, as doses tenderam a manter a produtividade até 9 kg/ha a partir do qual a produtividade tende a diminuir. Pela avaliação do efeito residual no segundo ano de cultivo, das doses de boro aplicadas a lanço no primeiro ano, não se verificou ainda efeito da adubação com boro (Figura 36), o que pode ser explicado pelo elevado teor de matéria orgânica do solo (40 g/kg) com 500 g/kg de argila, embora o teor inicial de boro no solo (extrator água quente) tenha sido 0,4 mg/dm³. Sintomas de toxicidade são evidentes nas plântulas com o uso de mais de 2 kg/ha de B no sulco de plantio; entretanto, esse estresse é superado à medida que a planta se desenvolve e não teve impacto mensurável na produtividade. No Mato Grosso, as doses superiores a 4 kg/ha não

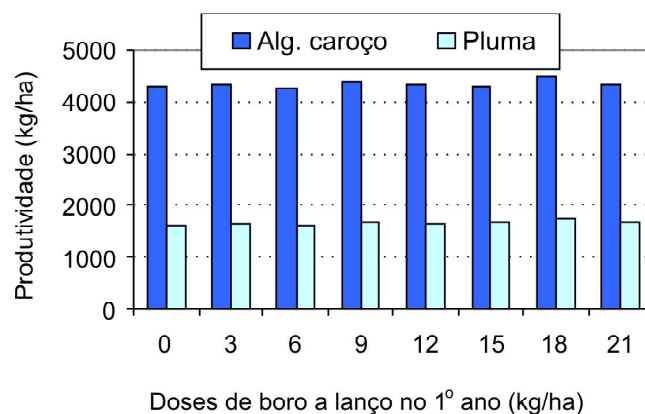


Fig. 36. Efeito residual (segundo ano) da adubação com boro aplicado a lanço, em solo argiloso com 0,4 mg/dm³ de B e 40 g/kg de argila. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005.

apresentam resposta em produtividade. De fato, a quantidade máxima de B acumulada no algodoeiro, produzindo 12 t/ha de biomassa, não supera 1 kg/ha. Desta forma, grandes perdas de nutriente ocorrem quando se supera essa dose e seu uso no sulco de plantio deve promover a eficiência de extração máxima, diminuir as perdas e evitar a toxicidade com o tempo de cultivo, pois o boro pode ser acumulado na camada subsuperficial (Figura 34). Pesquisas anteriores têm mostrado eficiência máxima de aproveitamento do boro pela planta em 30% da quantidade aplicada.

Os teores medidos no solo e na folha permitem um acompanhamento dos níveis de boro no sistema (Figuras 32, 33, 34 e 35), devendo-se diminuir a dose, sempre que se passar dos teores considerados adequados no solo ($> 0,6 \text{ mg/dm}^3$, extraído por água quente) e na planta ($> 60 \text{ mg/kg}$).

Não houve resposta de produtividade devido à aplicação de doses crescentes de Zn, em diferentes fontes e vias de aplicação (Figura 37 e Tabela 7); entretanto, os teores foliares e de solo foram modificados significativamente (Figura 37). Do mesmo modo, não houve resposta ao manganês (Figuras 38 e 39) nem ao cobre (Figuras 40 e 41), apesar do aumento nos teores foliares do nutriente.

Em solo argiloso de alta fertilidade de Turvelândia, com saturação por bases que variou de 54 a 76%, na camada 0-20 cm, adubado anualmente com

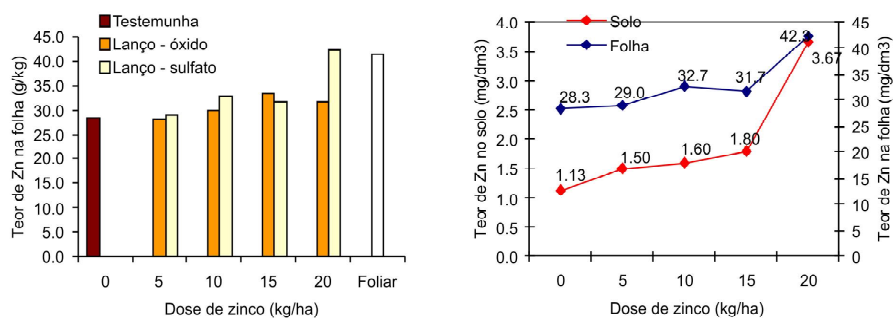


Fig. 37. Teores de zinco na folha do algodoeiro, em função de doses e fontes de zinco aplicado no solo, a lanço, e variação nos teores de zinco no solo e na folha do algodoeiro, em função de doses de zinco aplicado no solo, a lanço, na forma de sulfato de zinco. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

Tabela 7. Produtividade de algodão em caroço (segundo ano), em função da aplicação de doses de zinco a lanço no primeiro ano, anualmente no sulco de plantio ou via pulverização foliar (duas aplicações com sulfato de zinco a 0,5%, volume da calda igual a 250 L/ha). Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005

Dose de Zinco (kg/ha)	Testemunha	Lanço		Sulco ⁽¹⁾	Média
		Óxido de zinco	Sulfato de zinco		
0	4.428			4.428	4.428
5		4.263	4.465	4.437	4.388
10		4.472	4.418	4.369	4.420
15		4.333	4.329	4.350	4.337
20		4.551	4.264	4.532	4.449
Média	4.428	4.405	4.369	4.422	4.406
Foliar			4.308		

CV (%) = 5,42

(1) corresponde a 1/3 da dose aplicada a lanço.

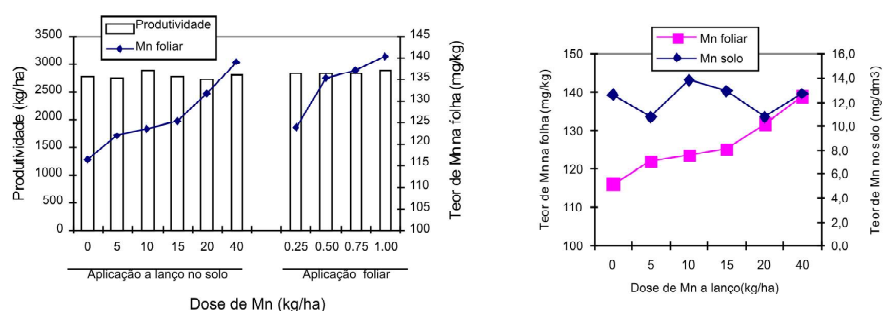


Fig. 38. Variação da produtividade média e nos teores de Mn na folha do algodoeiro em função de doses de manganês aplicadas via solo e via pulverizações foliares; e variação nos teores de Mn no solo e na folha do algodoeiro, em função de doses de manganês aplicadas via solo. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004.

micronutrientes, não houve resposta à aplicação de zinco, cobre manganês e boro, via solo. Neste experimento, com exceção do manganês, cujos teores na folha estavam deficientes quando a saturação por bases do solo foi superior a 70%, os teores dos outros micronutrientes se encontravam em níveis adequados ou altos. Pelos resultados obtidos não há necessidade de fazer adubação com micronutrientes todos os anos, mas é importante fazer uma avaliação da necessidade de adubação com base, principalmente, no histórico das adubações e nos resultados de análise de folhas realizadas em anos anteriores.

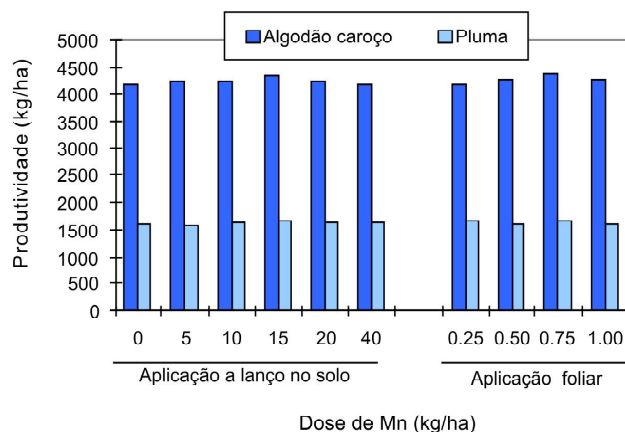


Fig. 39. Efeito residual (segundo ano) da adubação com manganês aplicado a lanço, em solo argiloso com 60% de saturação por bases na camada 0-20 cm, e efeito da adubação foliar. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005.

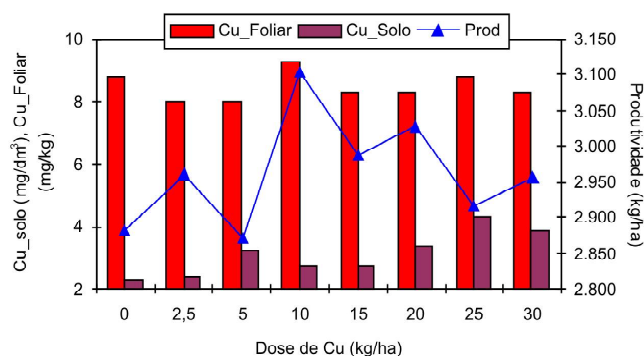


Fig. 40. Variação nos teores de Cu no solo e na planta e na produtividade, em função de doses aplicadas a lanço no solo. Santa Helena, GO, Safra 2003/2004.

No cerrado da Bahia é comum o aparecimento de clorose interneval com formação de malha de uma rede de nervura grossa sob um fundo clorótico, típico de deficiência de Mn em solos com pH superior a 6,0 e saturação em bases maior que 60%.

Os dados obtidos até o momento tem confirmado aqueles obtidos por Rosolem et al. (2001) e Rosolem (2005). As respostas a Cl, Cu, Fe e Mo são inexistentes; são raras e seu uso é justificado em solos recém-desbravados, com

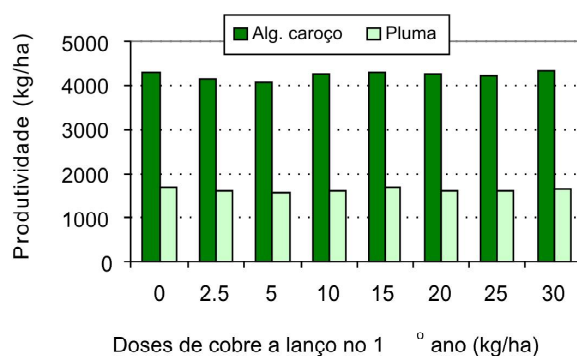


Fig. 41. Efeito residual (segundo ano) da adubação com cobre aplicado a lanço, em solo argiloso com 4,0% de matéria orgânica, 58% de saturação por bases e 2,3 mg/dm³ de cobre, na camada 0-20 cm de profundidade. Santa Helena de Goiás, safra 2004/2005

longo efeito residual, para o Zn; eventual, para o Mn, justificando a aplicação foliar, onde se mostre necessário; e freqüentes, para boro. Neste caso, doses de 0,5 a 2,5, aplicados na semeadura, em solos com menos de 0,6 mg/dm³ (no extrator água quente) suprem as necessidades da planta para os patamares de produtividades comumente obtidos no cerrado.

Em Chapadão do Sul, MS, em solos recém corrigidos com calagem e alto potencial produtivo, quando a adubação de plantio não incluiu micronutrientes, Reis Júnior (2003b,c,d,e,f) verificou resposta à aplicação foliar de B (até 750 g/ha, aplicados aos 25 e 40 dias após a emergência), Cu (até 140 g/ha), Mn (até 400 g/ha) e Zn (entre 150 e 200 g/ha), em solos com 0,7, 34,0, 5,4 e 4,7 mg/dm³ de Cu, Fe, Mn e Zn disponível, pH 5,9 e V= 38,3%. Nessas condições, ganhos de 27 a 54 @/ha foram observados. Esses dados confirmam a necessidade de se aplicar os micronutrientes via solo, na adubação de plantio, e de se monitorar seus teores no solo e na planta, para evitar perda de produtividade potencial.

Os dados de extração total de enxofre mostram necessidade de 44 kg/ha para obtenção de até 400 @/ha de algodão em caroço. Entretanto, Reis Júnior (2003g) tem mostrado que a produtividade de algodão em caroço aumentou linearmente, na Fibermax 966, em Chapadão do Sul, MS, de 266,9@/ha, na testemunha, até 298,7 @/ha, com a dose de 125 kg de S/ha. Por outro lado,

em pesquisas realizadas na Bahia, nas safras 1998/1999 e 1999/2000, não indicaram efeito significativo ao uso de até 144 kg/ha de enxofre. Em geral, faz-se gessagem nos solos do cerrado. Isto aumenta os teores de $S-SO_4^{=}$ disponível nas camadas mais profundas e diminui a resposta ao enxofre aplicado como adubo, especialmente nos solos mais arenosos. Por outro lado, o enxofre pode ser adsorvido no solo e imobilizado na matéria orgânica em solos mais argilosos. Daí, seu potencial de resposta ser maior nesses tipos de solo. Em geral, deve-se manter o fornecimento anual de 30 a 60 kg/ha/ano para garantir a ausência de deficiência nutricional que afete a produtividade.

Recomendação de Adubação: Primeira Tentativa

A recomendação de adubação para determinada cultura é o final de um longo período de pesquisa, nas mais diversas condições de clima, solo, variedades e manejo. Até o momento, os resultados não permitem a confecção de uma recomendação definitiva; entretanto, há disponíveis algumas diretrizes técnicas interessantes que podem ser usadas como critérios pelos que trabalham com a cultura, tendo sempre o cuidado de adaptá-las para suas condições locais de patamares de produtividade, custo e intensidade de resposta da cultura à adubação.

Sousa et al. (2004) e Vilela et al. (2004), com base em dados da Embrapa Cerrados, recomendam a correção dos níveis de fósforo (Tabelas 8 e 9) e potássio (Tabela 10) do solo para os níveis considerados adequados. A partir

Tabela 8. Rendimento potencial e interpretação da análise de solo para o P extraído pelo método de Mehlich-1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada, em sistema de sequeiro com culturas anuais

Teor de argila	Rendimento potencial da cultura (%)				
	0-40	41-60	61-80	81-90	>90
	Interpretação dos teores de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
%	mg/dm ³				
? 15	0,0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16-35	0,0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36-60	0,0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0,0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Fonte: Sousa et al. (2004), com adaptações.

Tabela 9. Recomendação de adubação fosfatada corretiva total e gradual, de acordo com a disponibilidade de fósforo e com o teor de argila do solo, em sistemas agrícolas com culturas anuais

Argila	Adubação corretiva total			Adubação corretiva gradual		
	Fósforo no solo ¹			Fósforo no solo ¹		
	Muito baixa	Baixa	Média	Muito baixa	Baixa	Média
%	kg/ha de P ₂ O ₅ ³					
≤ 15 ²	60	30	15	80 ⁴	70	65
16-35	100	50	25	95	80	70
36-60	200	100	50	130	95	80
> 60	280	140	70	160	110	85

¹Classe de disponibilidade conforme Tabela 8, doses arredondadas.

²Para esta classe textural, (silte + argila) = 15.

³Considerar apenas os teores de P solúvel nas fontes, conforme os métodos oficiais, exceto para os fosfatos naturais reativos, em que o P total pode ser usado no cálculo; preferir as fontes de alta solubilidade quando se fizer a adubação de correção gradual.

⁴O valor leva em conta uma adubação de manutenção anual de 60 kg/ha/ano de P₂O₅ mais o total da dose de fósforo da adubação corretiva total, dividido por três anos de correção gradual. Doses inferiores a 100 kg/ha devem ser aplicadas no sulco de plantio; as superiores a este limite devem ser aplicadas a lanço e incorporadas na camada arável. Como princípio, deve-se buscar atingir os patamares de produtividades realistas para o local e situação de correção do solo (começar com alvo de 3.000 kg/ha). A seguir, muda-se conforme progredirem as condições de correção do P disponível, tecnologia de manejo cultural e possibilidades climáticas da região. O limite superior a ser buscado é, preferivelmente, a produtividade alcançada no melhor talhão da propriedade ou de produtores da vizinhança com condições edafoclimáticas similares. Alvos incorretos provocam o uso de adubações erradas, geralmente exageradas.

Fonte: Sousa et al. (2004), com adaptações.

Tabela 10. Interpretação da análise de solo e recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos de cerrado

Teor de K mg/dm³	Interpretação	Corretiva total	Corretiva gradual
		kg de K ₂ O/ha	
		CTC a pH 7,0 menor do que 4,0 cmol/dm³	
= 15	Baixo	50	100 ³
16-30	Médio	25	90
31-40	Adequado ¹	0	0
>40	Alto ²	0	0
		CTC a pH 7,0 maior do que 4,0 cmol/dm³	
= 25	Baixo	100	110
26-50	Médio	50	100
51-80	Adequado ¹	0	0
>80	Alto ²	0	0

¹Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se uma adubação de manutenção de acordo com a expectativa de produção.

²Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomendam-se 50% da adubação de manutenção ou da exportação de potássio esperada ou estimada com base na última safra.

³Leva-se em consideração uma adubação de manutenção de 80 kg/ha/ano e um horizonte de correção de três anos.

Fonte: Vilela et al. (2004), com modificações.

desse ponto, Sousa e Lobato (2004) recomendam a execução de adubações de manutenção como indicadas nas quantidades de nutrientes extraídas pela cultura. Considerando os dados de pesquisas dos Cerrados de Bahia e Goiás, até o momento, são propostas modificações nas tabelas sugeridas pelos autores citados, para aproveitar os esforços de pesquisas anteriores na área de fertilidade e adequar a situação atual da exploração da cultura em campos extensivos (Tabelas 9, 10 e 11).

A adubação corretiva total não prescinde a aplicação da adubação de manutenção, no sulco de plantio. Nos anos em que se estiver fazendo a correção da fertilidade, a adubação anual será o somatório da adubação de manutenção para o alvo de produção escolhido mais a adubação de correção necessária para a máxima produtividade econômica. Toda adubação com P_2O_5 ou K_2O que supere 100 kg/ha deve ser aplicada, preferencialmente, a lanço e incorporada ou não, respectivamente, no pré-plantio. Abaixo desse valor, deve ser aplicada no sulco de plantio.

A adubação com nitrogênio é variável de acordo com o manejo da propriedade. Em sistema de cultivo convencional, é mais prudente o fracionamento da

Tabela 11. Sugestão de adubação do algodoeiro para as condições de cerrado

Expectativa de produtividade ¹	Nitrogênio ²		P disponível		K trocável	
	Plantio	Cobertura	Adequado	Alto ³	Adequado	Alto ³
	N, kg/ha		P ₂ O ₅ , kg/ha		K ₂ O, kg/ha	
Até 3	20	70	60	30	80	65
4	20	120	85	45	120	95
5 ⁴	20	155	110	55	160	130
6 ⁴	20	190	135	70	200	160

¹Alvo de produtividade a ser alcançado baseado na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores lotes da propriedade, para condição similar de solo, variedade e manejo.

²Doses mais apropriadas para solos arenosos (como na BA): admite-se redução de 10 a 20% da dose indicada para solos com > 350 g/kg de argila, especialmente sob sistema de plantio direto.

³Devido a baixa eficiência na recuperação do P pela planta, há tendência de acúmulo no solo. Após alguns anos de cultivo no nível alto, a adubação pode ser reduzida ou suprimida até que seus teores se reduzam para os níveis adequados, sem grandes perdas de produtividade. Dificilmente, isso se repetirá com o potássio; no entanto, onde ocorrem teores altos, o mesmo princípio pode ser adotado, exceto nos solos arenosos. Em solos argilosos, sob sistema de plantio direto, pode-se reduzir a dosagem em 10% dos valores indicados para adubação com potássio, sem redução na produtividade esperada;

⁴É pouco provável alcançar este nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou naqueles com pluviosidade inferior a 1.000 mm durante o ciclo, razoavelmente bem distribuído nos primeiros 140 dias do ciclo da cultura.

adubação, no plantio e em duas coberturas, aos 25-30 e 45-50 dias após a emergência das plantas. Em sistema de plantio direto ou semi-direto, sobre palhada de milheto, braquiária, milho ou outra gramínea, é prudente antecipar a primeira cobertura para 15 dias após a emergência, para evitar deficiência temporária de nitrogênio. Neste caso, a dose de N poderá ser aumentada em até 20%. A dose poderá ser reduzida em cultivo rotacionado com o plantio da soja, especialmente, se três ou mais anos de cultivo sucessivo dessa leguminosa tenham sido realizados no local. A antecipação de toda a adubação nitrogenada em pré-plantio em Sistema de Plantio Direto e Integração Lavoura-Pecuária é possível, porém os dados ainda são preliminares. Até o momento, é mais prudente a antecipação de até 60 kg/ha de N da adubação nitrogenada, sobre a braquiária, 18 dias antes da dessecação e sobre a palhada de milheto, oito dias antes do plantio. A aplicação em pré-plantio de nitrogênio, seguida pela imediata semeadura, tende a reduzir fortemente o stand final e não é recomendado.

As doses de fósforo devem ser aplicadas em linha, quando forem inferiores a 100 kg/ha de P_2O_5 . Doses maiores, devem ser aplicadas a lanço, incorporada ou não, no pré-plantio, especialmente, se os teores de P disponíveis são médios a adequados.

Doses de potássio superiores a 60 kg/ha de K_2O devem ser aplicadas parceladas, em solos com CTC a pH 7,0 menor que $4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (ou $40 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$). As adubações efetuadas na proximidade do abotoamento e do florescimento são mais efetivas e podem ser aplicadas junto com o nitrogênio. Em solos com maior CTC, todo o K pode ser aplicado a lanço, em pré-plantio ou logo após a semeadura.

A aplicação de 4 kg/ha de boro a lanço, em pré-plantio, visando corrigir os teores dos nutrientes no solo, pode ser uma medida efetiva, com efeito residual de até quatro anos, nos solos argilosos do cerrado. A aplicação anual de 1,5 a 3,0 kg/ha, dependendo da expectativa de produtividade, pode ser usada como estratégia de adubação de manutenção ou corretiva. Ela pode ser parcelada (sulco+ cobertura, sulco+ foliar, sulco+ cobertura+ foliar), tendo-se em mente que as doses necessárias tendem a diminuir na sequência dos modos de aplicação: Lanço > Cobertura > Sulco > > Foliar. A adubação via solo tem sido mais efetiva. Doses acima de 3,0 kg/ha devem ser usadas em adubação corretiva, em solos com alto potencial de resposta (solos arenosos, solos com

baixo teor de M.O.). Entretanto, é imprescindível acompanhar os teores foliares anualmente, para verificar se não se elevaram demasiadamente, após cada ano de cultivo, pois o boro pode acumular-se na matéria orgânica do solo ou, mesmo, adsorvido nas partículas de argila do horizonte subsuperficial.

A aplicação, a lanço, de 2 kg/ha de cobre, 6,0 kg/ha de manganês, 0,4 kg/ha de molibdênio e 6,0 kg/ha de zinco ou sua divisão em 3 partes iguais, aplicados no sulco de plantio, supre as necessidades mínimas da cultura por cerca de 4 a 5 anos (GALRÃO, 2004). Entretanto, a análise de tecido foliar anual permite verificar os níveis de disponibilidade desse nutriente no solo para a lavoura e deve ser feita pelo menos a cada dois anos.

Conclusões

Pelos dados coletados nas três últimas safras têm se verificado ou confirmado que:

- A calagem deve ser feita para atingir 60% da CTC do solo na camada superficial, devendo o calcário ser aplicado com a maior antecedência possível. Deve-se garantir esta correção mínima, com incorporação profunda do calcário, antes de se iniciar o sistema de plantio direto. Toda vez que o volume de saturação em bases for igual ou menor que 50% na camada arável, deve-se repetir a calagem. Preferir aplicar pequenas doses anuais (até 2 t/ha) a grandes quantidades, a cada 4 a 5 anos.
- A calagem exerce pouco efeito sobre a absorção dos micronutrientes, tendendo a aumentar seu acúmulo no tecido foliar; apenas os teores de Mn são consistentemente diminuídos e se deve ficar atento à ocorrência de sua deficiência, em particular em solos arenosos.
- A gessagem é essencial para promover crescimento radicular em profundidade do algodoeiro, apesar de nem sempre permitir aumento de produtividade. Ela tende a melhorar a absorção dos micronutrientes, aumentar a qualidade intrínseca da fibra e oferecer maior segurança contra veranicos.
- O algodoeiro tem alta demanda de macronutrientes para produzir satisfatoriamente. Pelas estimativas deduz-se que as principais cultivares de

algodão exportam, em média, 34, 12, 22, 4, 14 e 3 kg/ha de N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO e S, respectivamente, para cada tonelada de algodão em caroço produzida. Os dados de teores foliares adequados são consistentes com as informações da literatura.

- A maior parte do N acumulado na planta, durante o seu ciclo, é originada da mineralização do nutriente contido na matéria orgânica do solo, devendo ser aplicadas doses suficientes apenas para cobrir os teores exportados anualmente pela colheita e perdidos por lixiviação ou volatilização. A dose aplicada deve variar de acordo com a produtividade alcançada e o manejo que é feito na palhada, quando é usado o sistema de plantio direto. As doses adequadas devem situar-se entre 120 a 175 kg/ha/ano. Em sistema de plantio convencional e produtividade até 3000 kg/ha, 80 a 100 kg/ha de N podem ser suficientes. Deve ser feito parcelamento da dose aplicada, de acordo com a textura do solo, a quantidade de palha existente sobre a superfície e a época de desenvolvimento da planta. As melhores épocas se têm situado no abotoamento e no início do florescimento.
- Sob condição de solo argiloso e uso de Sistema de Plantio Direto sob palhada de milho ou, ainda, em Integração Lavoura-Pecuária (algodão-braquiária), a adubação de cobertura com nitrogênio pode ser antecipada, mas é prudente não antecipar mais que 60 kg/ha em pré-plantio sobre palhada de milho.
- As doses de P e K devem ser aplicadas visando corrigir seus teores para os níveis adequados e manejá-los, neste ponto, com adubação de manutenção. Dada a baixa eficiência da adubação fosfatada e pequena extração total durante o ciclo, é recomendável aplicar a quantidade total extraída pela cultura, a cada safra, e acompanhar a evolução dos teores no solo. Toda vez em que os teores ultrapassarem os valores considerados altos, deve-se reduzir a adubação até que volte aos níveis adequados. Em média, a extração total de P_2O_5 se tem situado em torno de 25 kg/ha/t de algodão em caroço produzido.
- A adubação com potássio acima de 170 kg/ha dificilmente é econômica, sobretudo, se for feita em solos argilosos, com teor de K maior que 98 mg/dm³ ou solo arenoso com teor maior que 60 mg/dm³. Exceto naqueles solos com relação (Ca + Mg)/K superior a 20, deve-se aplicar doses de potássio dentro das quantidades exportadas pela colheita, no nível de produtividade existente no local.

- A adubação com potássio permite maior tolerância da planta contra ramulária e alternária.
- Aplicações de mais de 4 kg/ha de boro a lanço, anualmente, não são efetivas sobre a produtividade.
- A aplicação anual de Cu, Mn e Zn na adubação de plantio em pequenas quantidades ou a aplicação de 2, 6 e 6 kg/ha a lanço (ou 1/3 desses valores no sulco de plantio, por três anos consecutivos) a cada 4 anos é suficiente para suprir as necessidades do algodoeiro.
- Não foi mostrada a efetividade da adubação foliar com KNO_3 , em condições brasileiras, na maioria dos ensaios realizados, mas sob forte período de veranico e com o uso de baixa dose de potássio no solo houve alguma resposta.

Considerações Finais

Muitas pesquisas ainda faltam para caracterizar, adequadamente, a melhor forma de se adubar o algodoeiro no cerrado de Goiás e Bahia, para obtenção de altas produtividades com os menores custos possíveis. Entretanto, pelos dados ora disponíveis verifica-se que os agricultores usam doses exageradas de nutrientes na cultura, aumentando-lhes o custo de produção. A necessidade de cada nutriente, sua quantidade e época de aplicação mais favorável e como isto se modifica, quando se muda para o sistema de plantio direto, estão ainda em estudo. No entanto, com os dados obtidos até o presente já se pode repensar e redimensionar a adubação que vem sendo praticada.

As recomendações oficiais de adubação são diretrizes técnicas importantes para otimizar o retorno do investimento feito na cultura, visando ao aumento da produtividade pela melhoria da fertilidade dos solos. Elas indicam a faixa de doses de cada nutriente em que é mais confiável investir para melhorar a rentabilidade do empreendimento. Entretanto, somente o valor recomendado não é suficiente para dimensionar as doses usadas na adubação. A conjuntura econômica deve ser estudada, as variedades mais produtivas devem ser usadas e as melhorias no manejo, que permitam a conservação da produtividade contra fatores que tendem a reduzi-la, como ervas daninhas, pragas e doenças, devem ser consideradas. Esses fatores conduzirão à decisão de se usar um pouco mais

ou menos da adubação sugerida nos laudos técnicos de análise de solo. O histórico da área e os teores de nutrientes, no solo e na planta, são essenciais para uma decisão de adubação bem embasada.

Nem sempre, os aumentos das doses dos fertilizantes implicam em maior produtividade. Às vezes, podem até diminuir, seja por toxicidade, desequilíbrio de nutrientes, maior crescimento vegetativo e, ou, pressão de pragas, doenças e ervas daninhas. São por estas razões que se deve tomar cuidado nas sugestões freqüentes de aumentar as doses de adubo em uso.

Algumas práticas potencializam a resposta da adubação, diminuindo o tamanho das doses e aumentando sua eficiência para obtenção da mesma produtividade. Dentre elas, pode-se citar a calagem, a gessagem, a boa estruturação do solo e ausência de compactação, a manutenção de cobertura morta sobre a superfície, a rotação de cultura e o parcelamento da adubação nitrogenada e potássica, quando pertinente. O plantio na data correta, o uso de sementes de altas percentagens de germinação e vigor, as definições dos espaçamentos e densidades de plantio apropriadas para a variedade e sistema de cultivo são essenciais.

Em um sistema produtivo moderno e tecnificado, a correção do solo e a adubação correta da cultura permitem o crescimento de plantas robustas, altamente produtivas, resistentes a pragas e doenças e tolerantes ao estresse hídrico. Isso permite manutenção da produtividade no tempo, redução de custo de produção e rentabilidade compatível com a atividade. Essas condições são básicas para uma agricultura competitiva e sustentável no cerrado do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao *Fundo para o Desenvolvimento do Agronegócio do Algodão – FUNDEAGRO/BA* e ao *Fundo de Incentivo à Cultura do Algodão em Goiás – FIALGO*, pelo apoio financeiro recebido para execução das pesquisas, na Bahia e em Goiás, respectivamente. Também estende seus agradecimentos às equipes de suporte à pesquisa (pesquisadores, técnicos e demais envolvidos) da *Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento do Oeste da Bahia – Fundação Bahia*, da *Fundação de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário de Goiás – Fundação GO* e da *Embrapa Algodão*, pelo auxílio

imprescindível na condução dos ensaios realizados e na revisão e editoração do texto. Por último, porém não menos importante, os autores agradecem o auxílio financeiro da Associação dos Produtores de Algodão da Bahia – ABAPA e da Associação dos Produtores de Algodão de Goiás – AGOPA, que tornaram possível a publicação deste documento com o extrato dos principais resultados obtidos, até o momento, em Manejo da Fertilidade do Solo e Nutrição do Algodoeiro nesses Estados.

Referências Bibliográficas

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análises de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. ; FONTES., M.P.F. (Eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa: SBCS/ UFV/ DPS, 1996. p.615-645.

CARVALHO, M.da C.S.; BERNARDI, C.de C.; FERREIRA, G.B. O potássio na cultura do algodoeiro. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p.343-403.

CARVALHO, O.S.; SILVA, O.R.R.F. da; MEDEIROS, J. da C. Adubação e calagem. In: BELTRÃO, N.E. de M. (Org.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v.1, p.175-210.

DIAS, L.E.; ALVAREZ V., V.H. Introdução à fertilidade do solo. In: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS). Curso de fertilidade e manejo de solos: módulo 2. Brasília, 1994. 37p.

FUNDAÇÃO MT (Rondonópolis,MT) Mato Grosso: auto-suficiência e eficiência. Rondonópolis, 1997. 107p.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.185-226.

LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1994. 62p. (ANDA. Boletim Técnico, 5).

MALAVOLTA, E. Manual de calagem e adubação das principais culturas. São Paulo: Ceres, 1987. 496p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.2, p.393-486, jul. 2002.

POSSAMAI, J.M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. 2003. 91p. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

REICHARDT, K. Como superar o veranico no cerrado. Informações Agronômicas, Piracicaba, v. 32, p.1-2, 1985.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Avaliação agronômica do tratamento de sementes e pulverização foliar com zinco no algodão. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003f. Disponível em: http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação sulfatada. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003g. Disponível em: http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação foliar com nitrato de potássio. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003a. Disponível em: http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação foliar com manganês. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003d.

Disponível em: http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação foliar com cobre. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003c. Disponível

em: http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação foliar com boro. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003b. Disponível em:

http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade de algodão em função da adubação foliar com zinco. Chapadão do Sul, MS: Fundação Chapadão, 2003e. Disponível em:

http://www.fundacaochapadao.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=category§ionid=10&id=92&Itemid=63.

ROSOLEM, C.A. Micronutrientes em algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., Salvador, BA, 2005. Anais....Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROOM.

ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 2001. (Potafos. Informações Agronômicas, 95)

ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Algodão, amendoim e soja. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.; ABREU, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESQ/POTAFOS, 2001. p.319-354.

SILVA, N.M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos. Cultura do algodoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.57-92.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e

semiperenes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.283-315.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: Embrapa Agropecuária Oeste (Dourados). Algodão: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Algodão, 2001. p.103-123

THOMPSON, W.R. Fertilization of cotton for yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos. (Eds.). Cultura do algodoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.93-99

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. de; SILVA, J.E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.169-184.

ZANCANARO, L. Manejo da adubação do algodoeiro no Estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., Salvador, BA, 2005. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROOM.

ZANCANARO, L. Fósforo na cultura do algodão em Mato Grosso. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.285-289.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L.; HILLESHEIM, J.; VILELA, L. Manejo da adubação na cultura do algodão. In: FUNDAÇÃO MT (Rondonópolis,MT) FMT em campo 2004: é hora do algodão. Rondonópolis, 2004. Disponível em: www.fundacaomt.com.br.



Patrocínio:



Apoio:



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

